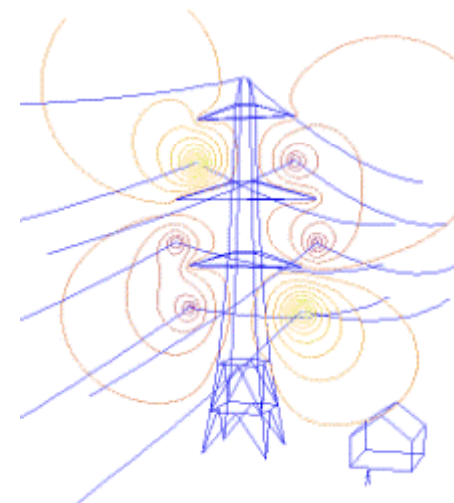
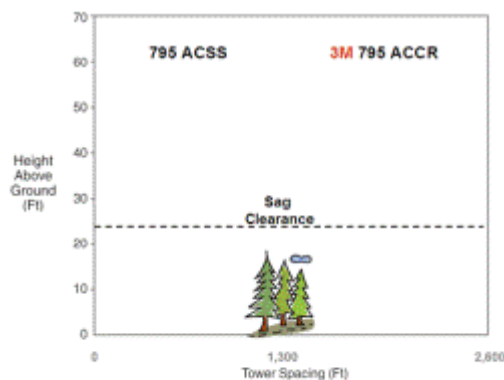


Hrvatski IEEE odjel za energetiku tribina: Nove tehnologije u izvedbama nadzemnih vodova

Tomislav Fancev, dipl. ing. stroj.
Dr. Davor Grgić, dipl. ing. elteh.

Zavod za visoki napon i energetiku
Fakulteta elektrotehnike i računarstva
Zagreb 2007.



Sadržaj

- Uvod
 - Klasični dalekovodi i pojave alternativa
 - Nove tehnologije u izradi vodiča
 - Kompaktiranja s pokretnim konzolama i suvremenim vodičima
 - mogućnosti i ograničenja kompaktiranja
“Elementarna teorija translacijskih konzola”
 - 3D dinamičke simulacije s konačnim elementima
 - osnovni koncepti modeliranja i provjere teorije
 - Zaključak
- Literatura
Prilog: Izbor animacija iz Algor[®] ME simulacija
Pitanja, odgovori, rasprave...

Klasični dalekovodi

- **provjereni materijali**
alumijskočelična užad, porculanska i staklena izolacija, čelični profili i limovi u ovladanim tehnologijama (zakovica i svarenih konstrukcija stupova), armiranobetonske konstrukcije (temelja i stupova),...
u kvalitetnim konstrukcijskim rješenjima klasičnih zateznih polja (s dominacijom optimiranih rešetkastih rješenja stupova),
- stoljetna iskustva,
- velika pouzdanost i dugotrajnost (prosj. 30... > 50 god !)
- **popratna normativa**
(ISO, DIN, ASTM, HRN N. regulative,...),
- dotjerane praktične procedure projektiranja,
- usavršeni proračunski algoritmi, kompjuterski alati,
- **automatizirana priprema dokumentacije,...**
(obično “in-house” rješenja, npr. ABB, Dalekovod dd Zagreb,...)



Ekstremni primjer slike na koju smo "navikli"

■ ... "jela"



... DV "Sankt Peterburg/Petrovgrad-Krim":

- lijevo "asimetrična jela/delta" s pojedinačnim vodičem; desno: dvosistemske "bačve" sa snopovima dva vodiča...

Pojave alternativnih rješenja

* / : ” ... klasični dalekovodi ...

- dosegnuti limiti parametara, koridora i gabarita objekata:
 - širina trasa i visine objekata,
 - dielektričnih rješenja glava stupova i induktiviteta dalekovoda,
 - jakosti električnog polja ispod i u blizini dalekovoda;
- s porastom prenesene snage rastu:
 - struje, jakosti el.polja, gustoće mag. toka, gubitci,
 - presjeci vodiča, brojevi vodiča u snopu,
 - gabariti temelja i konstrukcije stupova;
- **...istovremeno...**
 - otežano uklapanje u prostor,
 - otežana i neprimjerena ekološka rješenja i rješenja zaštite prirode,
 - otežana primjena zakonske regulative,
 - poskupljenja dalekovoda,

...što je dovelo do...

- razvoja novih tehnologija u tehnikama kompaktiranja i rekonstrukcijama postojećih vodova i gradnji novih dalekovoda:
 - primjena izolacijskih pokretnih konzola na nosivim stupovima,
 - primjena skraćenih konzola i pomoćnih izolatora, diel.rješ. glava zat. stupova,
 - primjena međufaznih rastojnika za postizanje diel.rj. raspona,
 - smanjenih gabarita stupova i temelja,
 - korištenja stupova i temelja nižega napona za stupove i temelje višega napona,
 - suženih koridora i gabarita objekata,
 - suženih trasa s mogućnošću udvostručenja sustava,
 - pretvorbi dalekovoda nižeg u dalekovode višeg napona na istim stupovima, uz suženje trase,
 - udvostručenja dalekovoda istog napona,
 - povećanja prijenosne snage pri istom naponu,
-
- ... odgoda gradnje novih objekata,
 - smanjenih cijena dalekovoda uz ekološki povoljnija rješenja i zadovoljavajuća rješenja zaštite prirode. ”

*/ [1]

Zašto i kada alternativa ?

... promjene ne dolaze same od sebe već zbog sve složenijih ekonomskih, pravno-zakonodavnih, ekoloških, tehničkih, ... i inih uvjeta, npr.

- razvoj mreže ne slijedi porast potrošnje,
- vrijeme dobivanja trasa po direktivama - prošlo svršeno,
- mogućnosti širenja i otkupa novih trasa ograničene,
- nekompatibilni zahtjevi razvoja ekološko prihvatljivijih rješenja s malim početnim investicijama,
- sve strožiji kriteriji dozvoljenih jakosti EM polja i nemogućnost zadovoljenja novih zahtjeva na "stari" način
- potreba da se sa što višim naponom dođe u gradsko/prigradsko područje
- potreba za dodatnom fleksibilnosti pri odlučivanju o izboru nadzemnog ili podzemnog voda

Kompaktiranje?

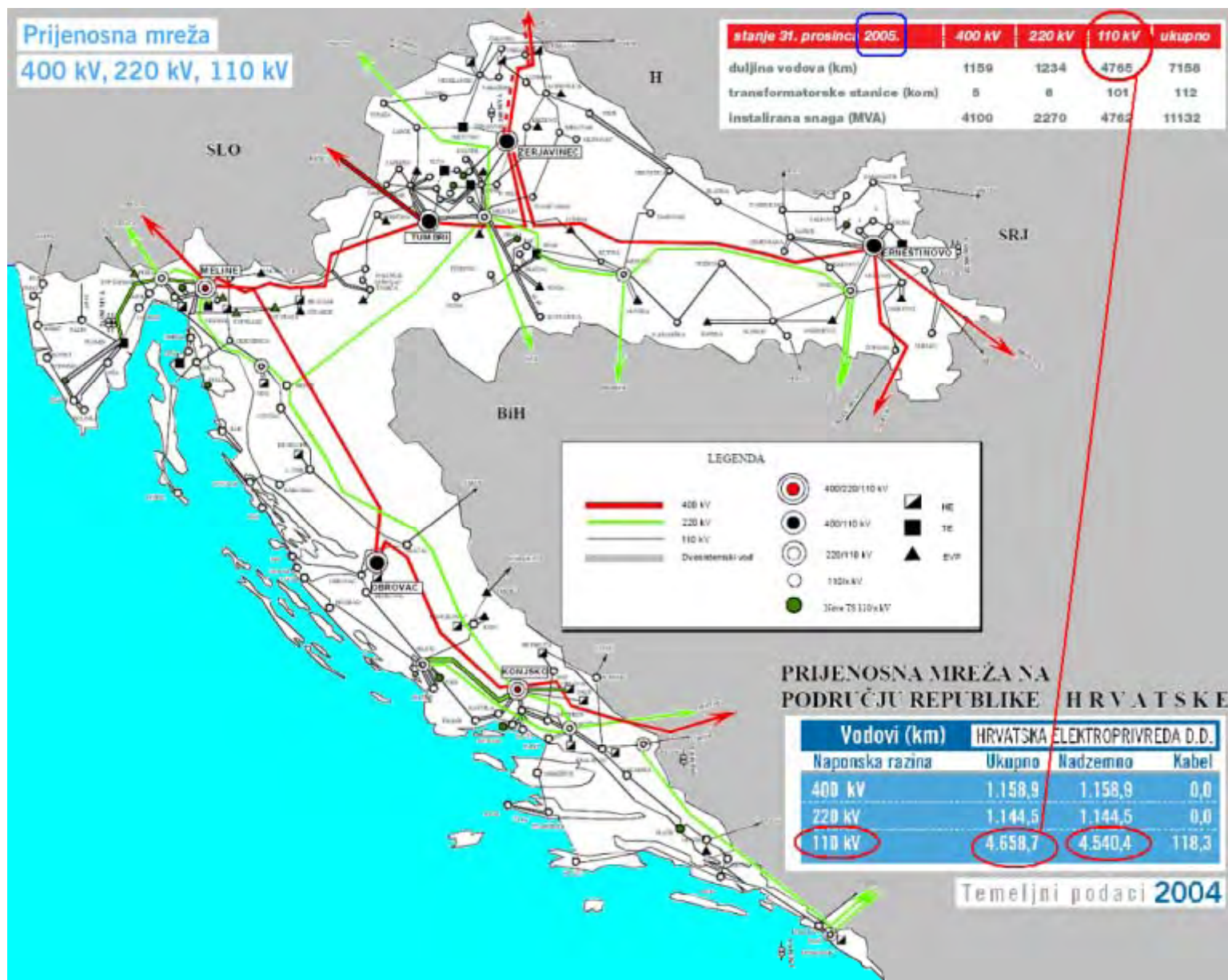
- U osnovi je smanjenje dimenzija stupa i/ili glave stupa da se postigne bolje iskorištenje prostora i materijala i zadovolje zahtjevi proizašli iz EM utjecaja
- Ima puno načina na koji se može realizirati pri čemu se neki već uobičajeno primjenjuju a neki predstavljaju radikalnija rješenja
- Nas zanima moguća primjena:
 - novih (kompozitnih) materijala u tehnologijama štapne izolacije (štapni izolatori, međufazni rastojnici, pokretne konzole,...),
 - novih izvedbi stupova (*Green Lines*), modularni kompozitni stupovi, i
 - novih visokotemperaturnih i kompozitima pojačanih aluminijskih vodiča

Nova rješenja?

- Nude prednosti ali te prednosti nisu uvijek izrazite u odnosu na ono što "klasika" već ima (s bar 30 god. garancijama !)
- Nedostaju alati i iskustvo u projektiranju i izvedbi (potreba za dodatnim razvojem)
- Nedostaje pogonsko iskustvo
- Postoji manjkavost postojećih normativa za primjenu novih rješenja (npr. dinamička problematika pokretnih konzola),...

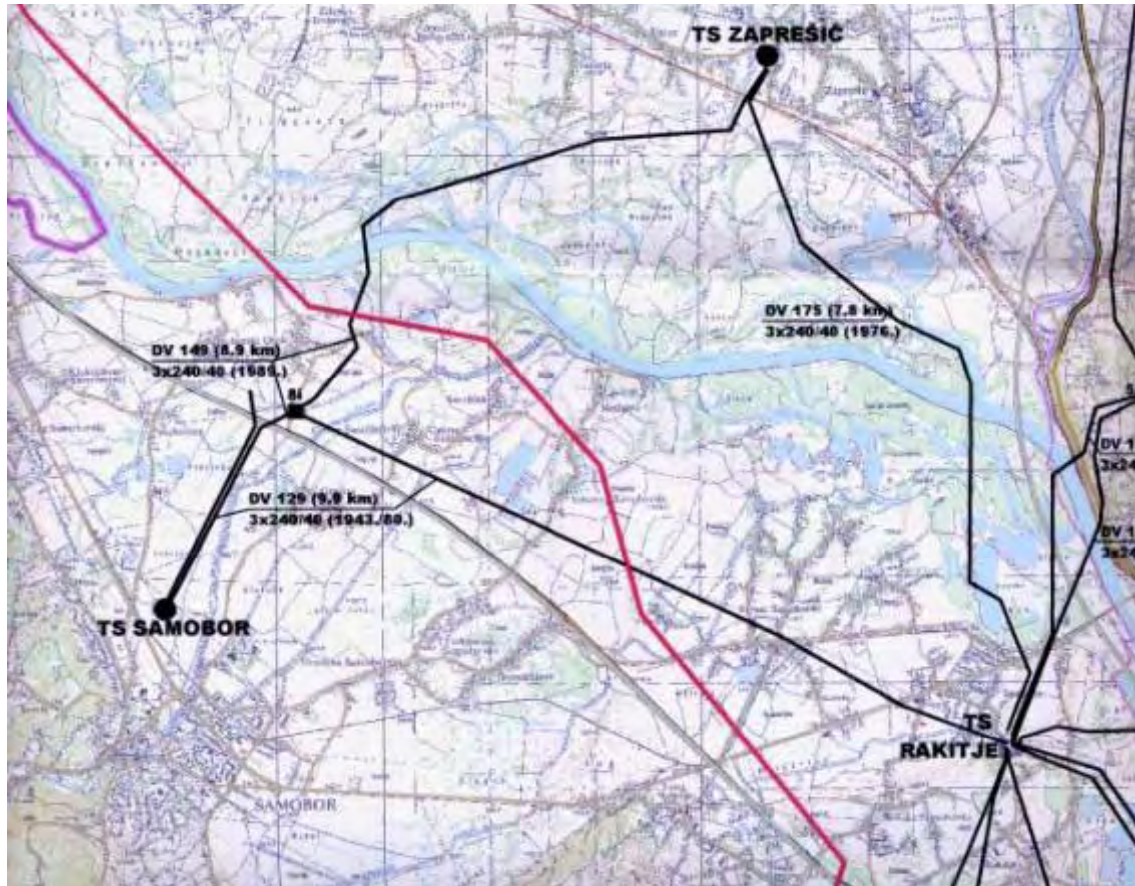
Inicijativa – zauzeti stav o kompaktiranju

- Situacija ipak nije baš tako crna za uvođenje novih tehnologija i u većini slučajeva, nakon što je uspješno završen razvoj primarne opreme (npr kompozitna konzola ili novi vodič), moguće je uz manji **dodatni razvoj i ispitivanja** realizirati finalni proizvod - dalekovod
- Prethodno je potrebno odrediti moguću ulogu kompaktiranih rješenja u predstojećem razvoju našeg sustava (rekonstrukcija, revitalizacija, modernizacija, 110-220-400 kV dalekovoda, povećanje prijenosne moći, smanjenje gubitaka, bolje korištenje koridora)
- Potrebno je utvrditi interes domaće industrije
- Ukoliko postoji obostrani interes treba razmotriti mogućnost izvedbe pilot projekta (prirodni izbor je neki od starijih 110 kV vodova manje dužine u ravničarskom prigradskom području)



- Temeljni podaci za 2006 neznatno različiti..

Usporedni projekt klasičnog i kompaktiranog rješenja za izabranu dionicu?



Kriteriji izbora:

- Revitalizacija ionako planirana,
- Kraća dionica,
- Kraći rasponi,
- Prigradsko područje,
- Ravničarsko područje,
- Nema strogih zahtjeva za dodatni teret

Primjeri izvedenih kompaktnih dalekovoda

iskazuju prednosti u uvjetima ograničenih gabarita
i nedostupnosti širih trasa

- USA:
- prvih pola milje kompaktnog 138 kV dalekovoda izgrađeno 1973 u državi New York
(Power Technologies, Inc., sponzorirao EPRI, USA)
- ... kompaktni dalekovodi naponske razine 138 kV dobro pokriveni smjericama i regulativom;
- 230 kV u petogodišnjem EPRI-jevom planu
- EU:
- prvi 400 kV kompaktni dalekovod s pokretnim konzolama izgrađen 1998 u Evropi (zaslugom švicaraca, SEFAG AG)

- *"Zeleni dalekovodi"* (Green Lines, ABB):
dvodimenzionalni (plošni, 2D) stupovi i pokretne konzole,...

Različiti pristupi

- Ne-rešetkasti, poligonalni (npr. usadno/nasadni, uzdužno vareni) stupovi (Non-laticed Towers/Poles, Monopoles/Folded-plate Towers)
 - s nepokretnim i pokretnim konzolama...
- Kompozitna (polimerna) štapna izolacija (Composite/Polimer Insulation)
- "*Zeleni dalekovodi*" (Green Lines)
 - Plošni (2D, dvodimenzionalni) stupovi (Bi-dimensional Towers)
 - Pokretne konzole (Pivoted Arms / Swivel or Pivoting Base)
- Kompozitni stupovi (Composite Towers)...
- Primjena vodiča novih tehnologija (suvremeni vodiči)
 - Advanced/Innovative/Modern; (Composite Reinforced) Conductors

- 110 kV dalekovod s pokretnim konzolama na poligonalnim stupovima izgrađen 2002 u III sveučilišnom naselju Krakowa (Poljska)



- Kompjuterska vizuelizacija

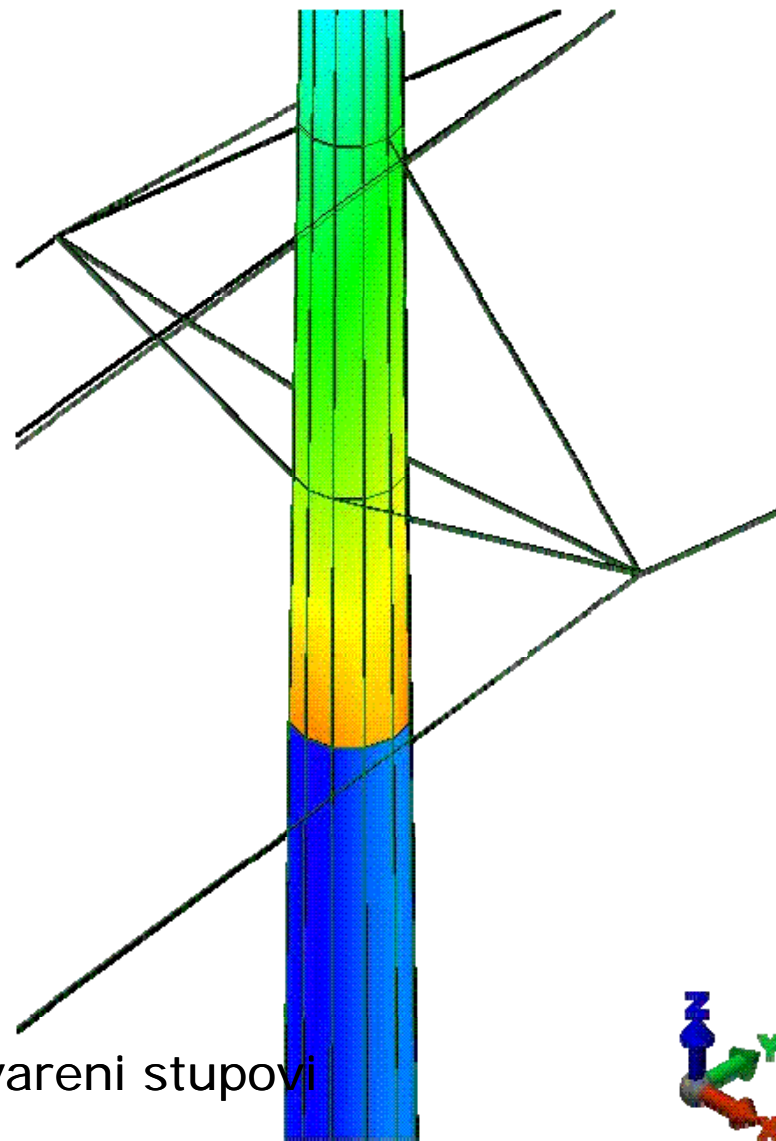
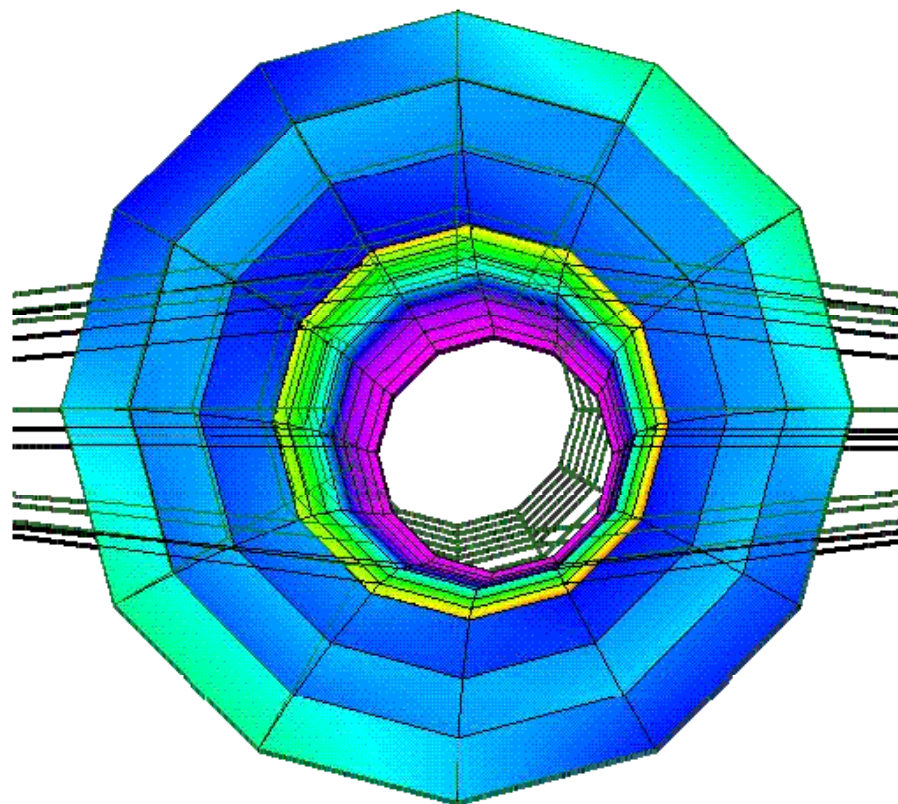


- Stvarna fotografija

Poligonalni stupovi



- Modularna koncepcija poligonalnih stupova (vareni čelični limovi)
- jednostavnost ugradnje,
- ... estetika uklapanja u okoliš, ...



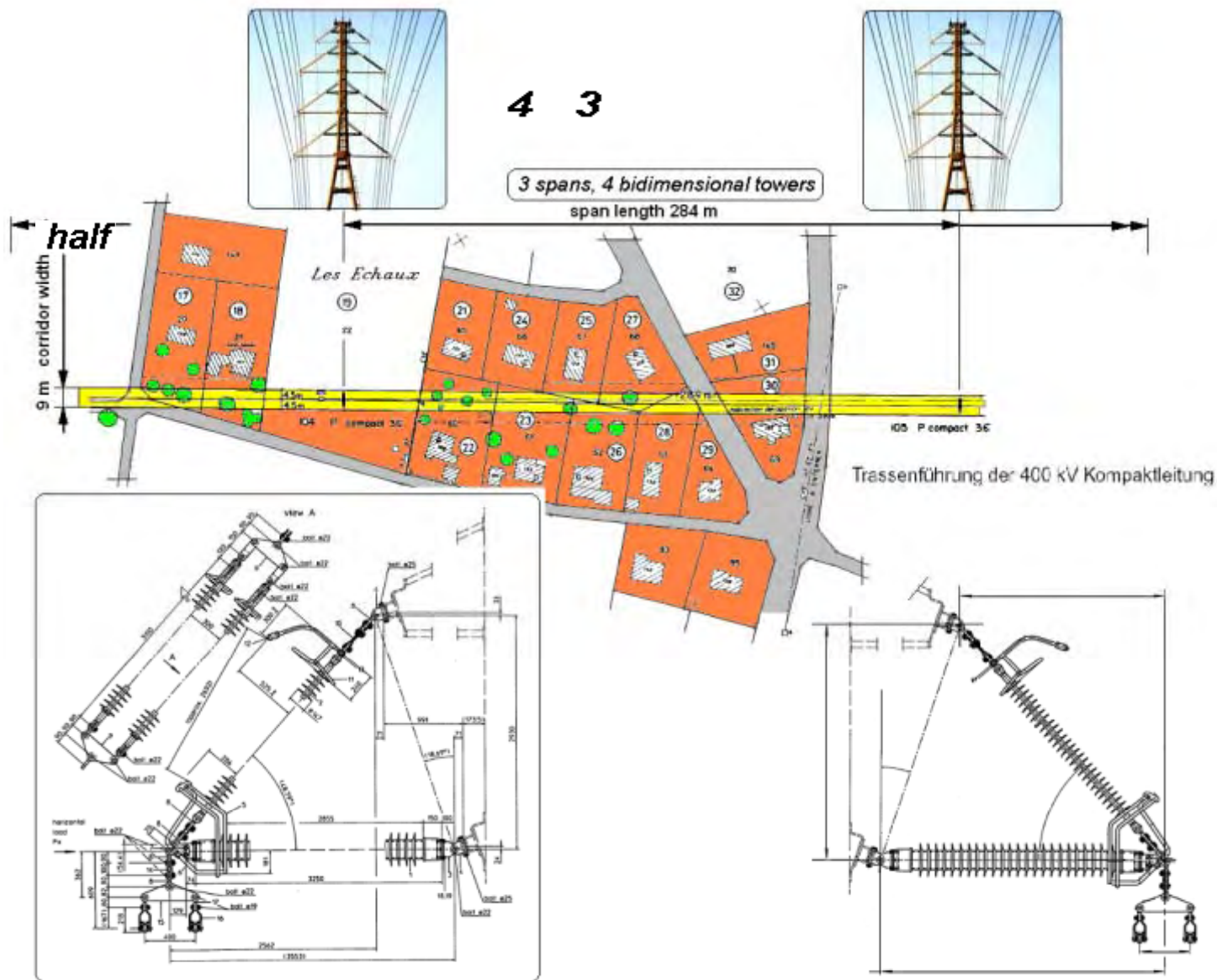
- Poligonalni, usadno-nasadni, uzdužno vareni stupovi (SUN - Dalekovod d.d. Zagreb)
- provjere naprezanja (FEM) i mogućnost optimizacije debljina čeličnih limova !



- Primjer iz Velike Britanije
(Folded-plate tower, *Cambridge Science Park, GB/UK; kV?*)



- Francuska primjer - alpinisti na 400 kV...



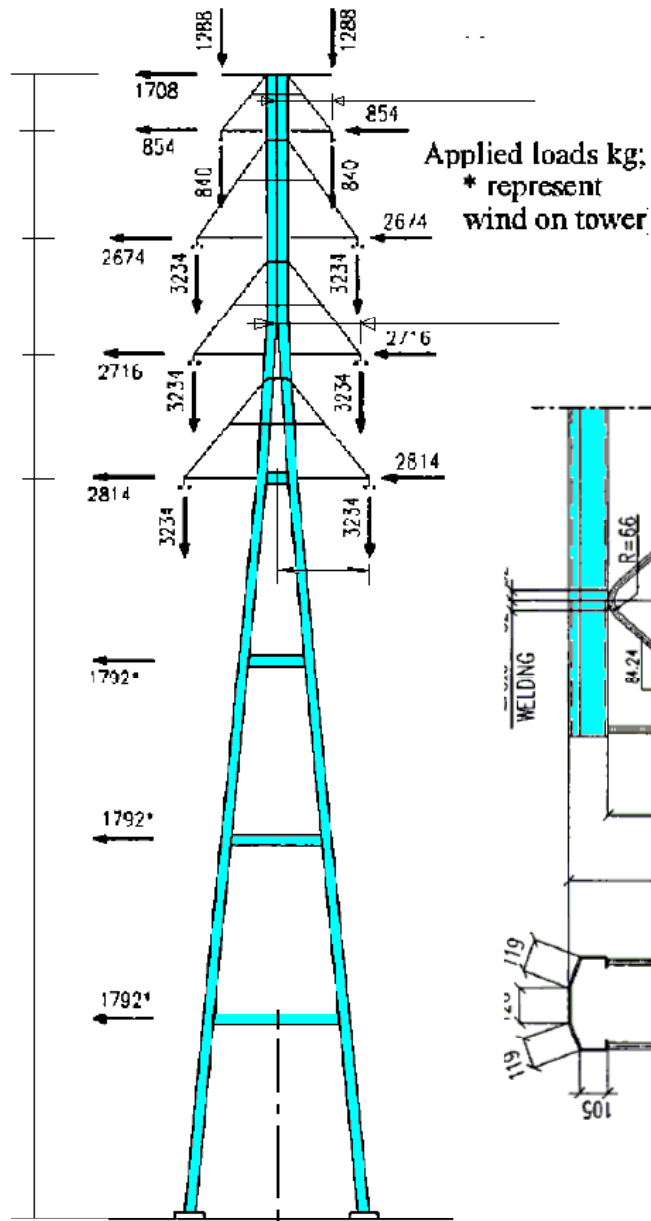
■ *Zeleni dalekovodi (ABB):*

2D/plošni stupovi

i

pokretne konzole

■ Lausanne – Geneva (2x125⇔ 2x400 + 1x132 kV)



**A NEW 400 kV LINE WITH COMPACT TOWERS
AND COMPOSITE INSULATED CROSSARMS**



21, rue d'Artois
F-75008 Paris

Session - 1998
© CIGRE

by

M. AMMANN P. DALLÈVES

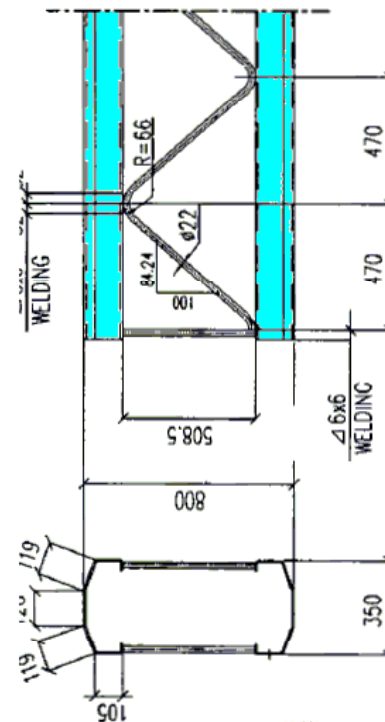
EOS

K.O. PAPALIOU*
SEFAG
(Switzerland)

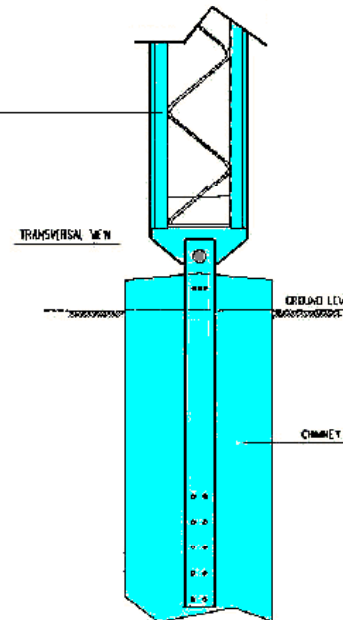
M. LEVA S. VILLA
ABB - SAE Sadelmi
(Italy)

P1FC TOWER

Shape SH 350x7

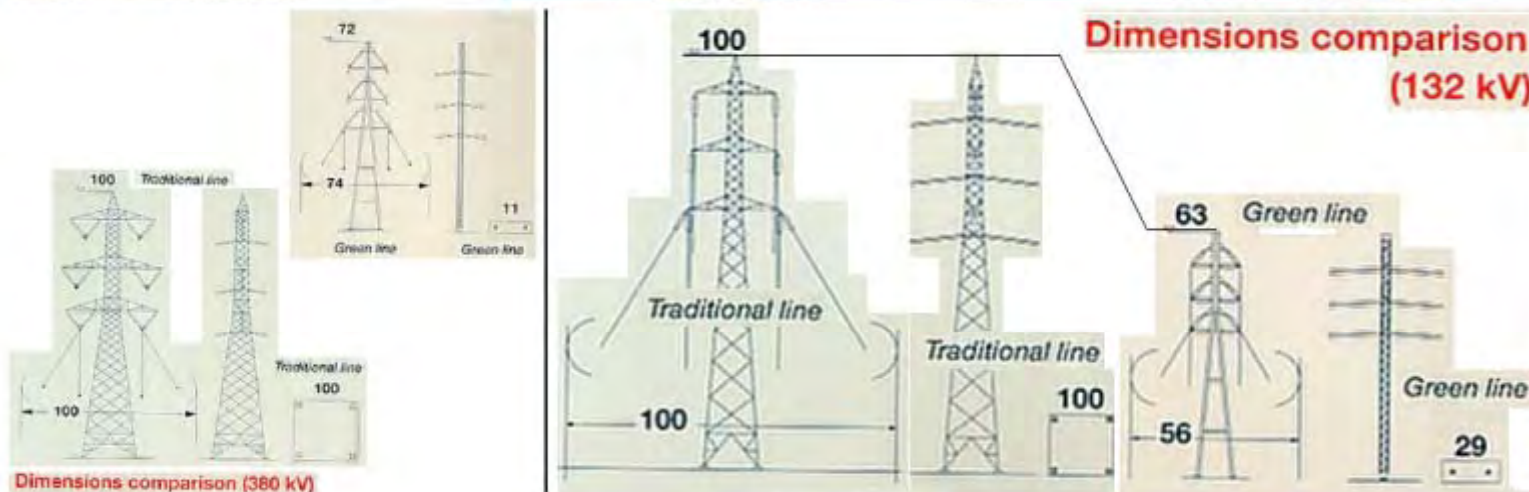


Hinge connection detail
between tower and foundation



- ... uzdužno labilni stupovi
sidreni parom zaštitnih užeta...

400 kV COMPACT LINE

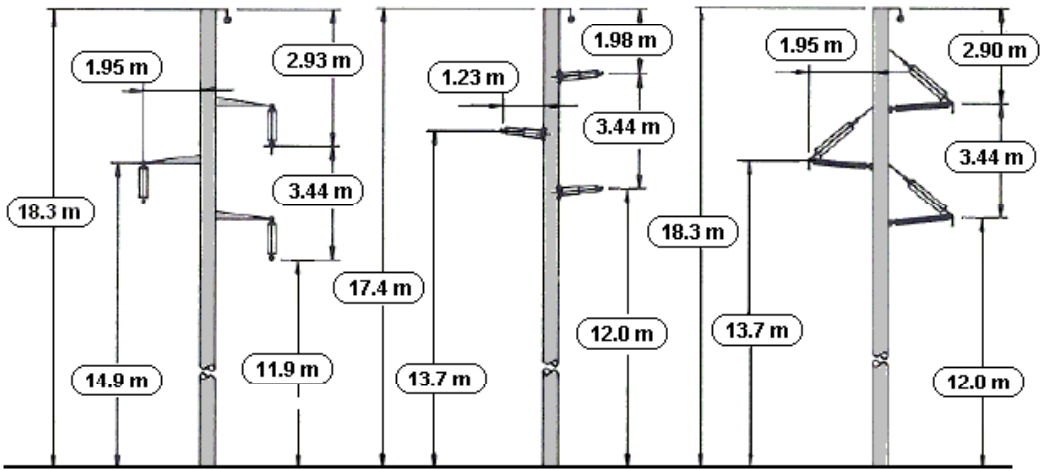


- ... Detalj noge stupa... zaštitnim užetima pridržavani stup - dodatni proračuni stabilnostiuzdužne siluete

138 kV Single Circuit

Conductor : Single wire, diam. 18.03 mm

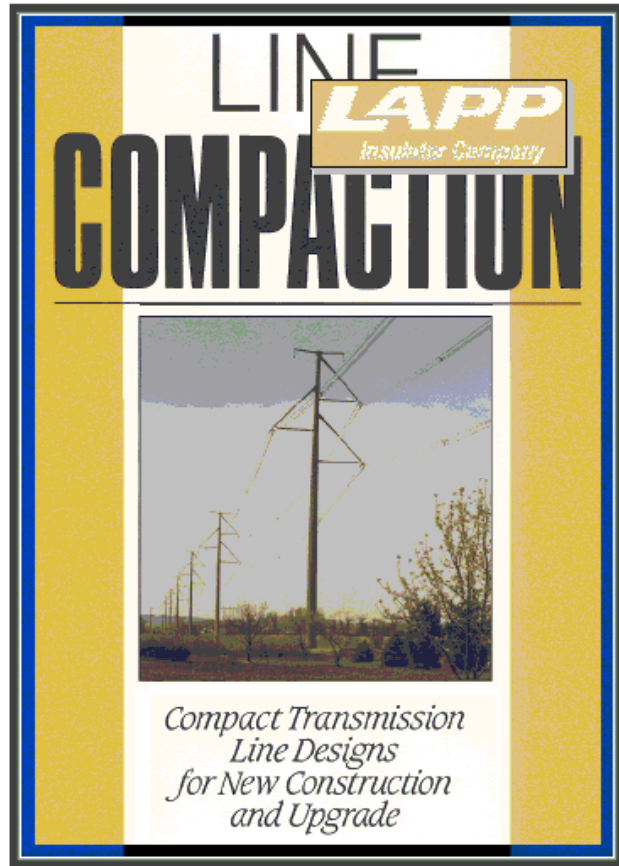
Approx. values (m)



COST k\$/km ROW cost included in total cost per mile.									Pole Type
Suspension			Line Post			Horizontal Vee			
Steel	Concrete	Wood	Steel	Concrete	Wood	Steel	Concrete	Wood	Span Max.
88.3	48.5	42.9	80.2	47.2	39.8	92.0	51.0	43.5	275 m
102	63.4	†	98.8	64.0 *	†	101	64.6	†	305 m

Insulators with 76 mm diam rod required † Ground line moments are beyond practical limits for wood poles.

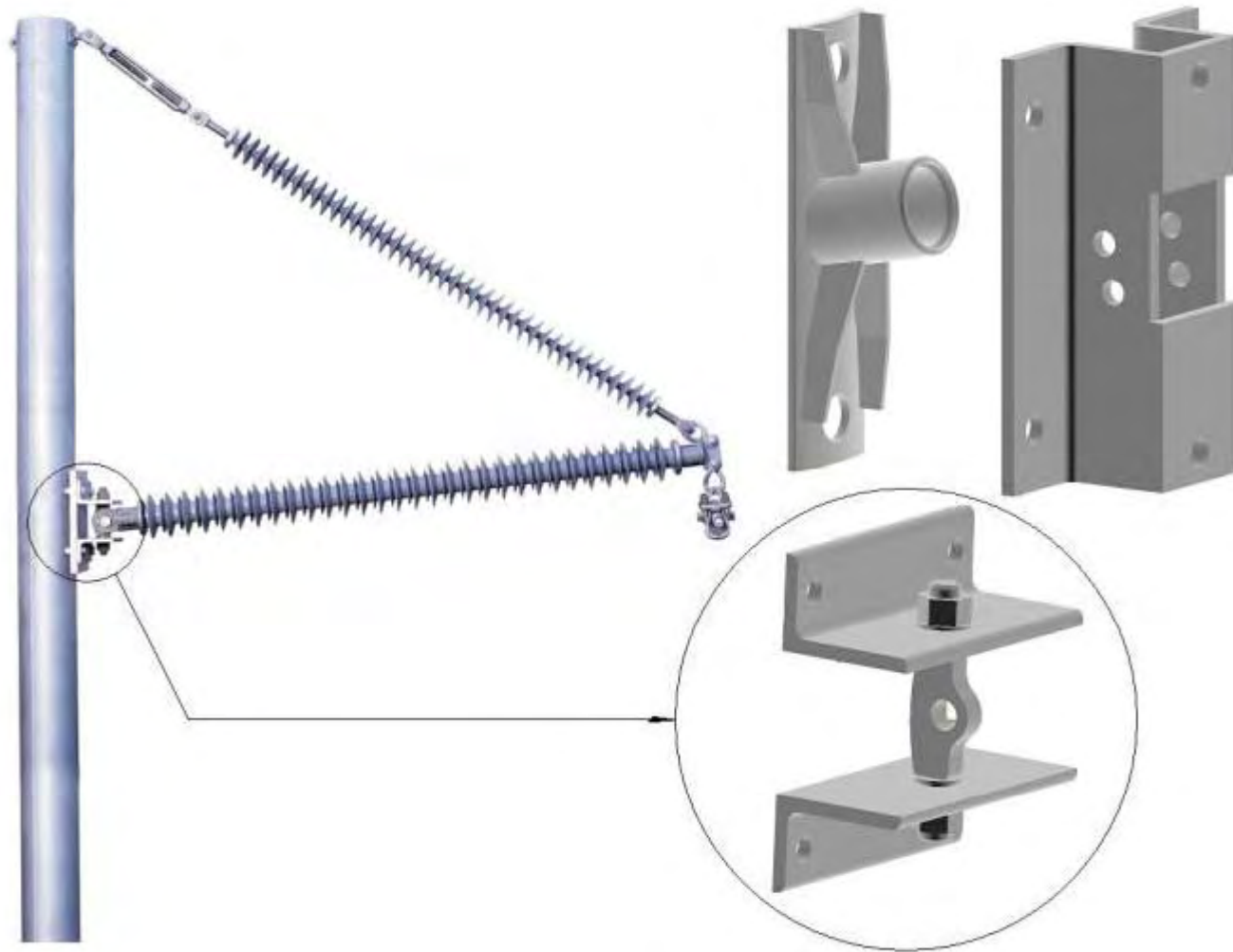
16.63	13.70	15.10	ROW Cost k\$ Per km
182,100	164,200	182,780	Steel (\$)
81,600	82,260	92,130	Concrete (\$)
69,600	64,250	74,148	Wood (\$)
130 m			Span, m
232	214	222	GLM (kips)
16.8 m	13.9 m	15.3 m	ROW



GLM = Ground Line Moment
ROW = Right-of-Way

- Kompaktiranja – smjernice za nove dalekovode ili rekonstrukcije (138 kV)

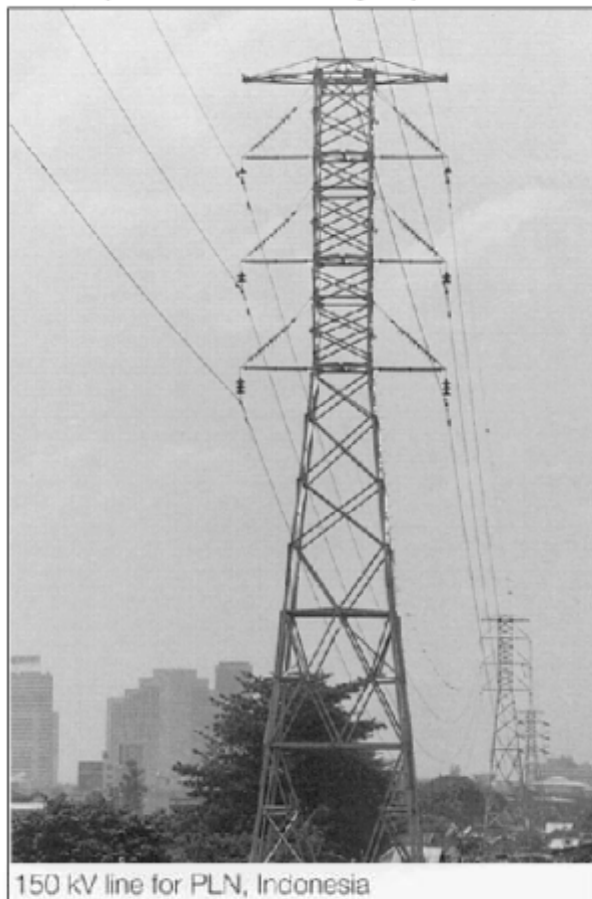
Pokretne Konzole



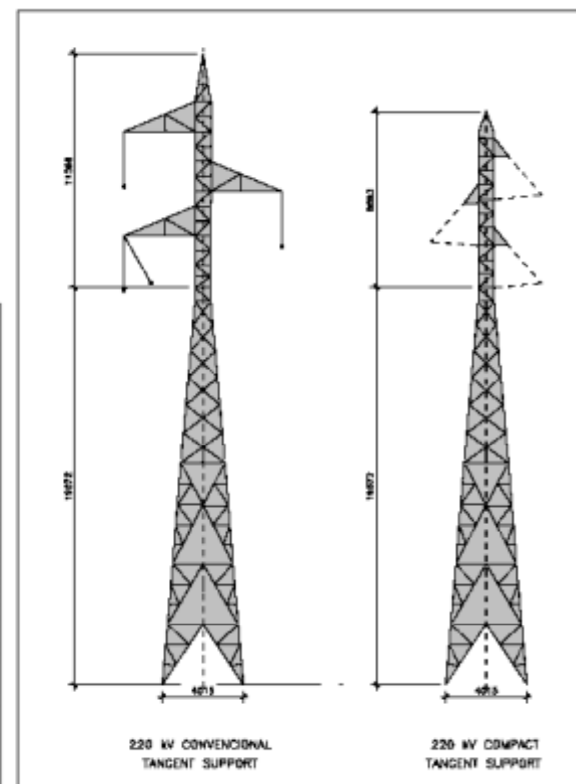
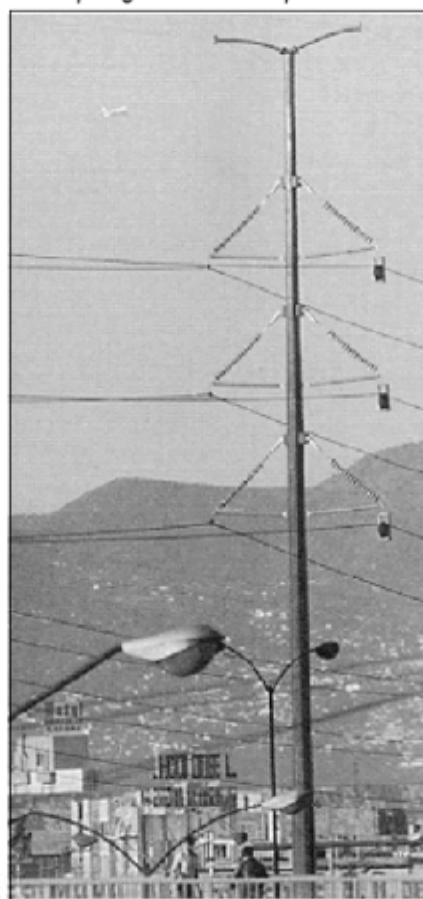
- Talijanski dizajn (Assiemebasi 220 kV)

Silueete čeličnorešetkastih nosivih stupova razine 220 kV:
 klasično rješenje (lijevo),
 s pokretnim konzolama (desno).

Pokretne konzole
 ... na trupu čeličnorešetkastog stupa



... na poligonalnom stupu.



- Stupovi - kompaktiranja pokretnim konzolama...



120 kV

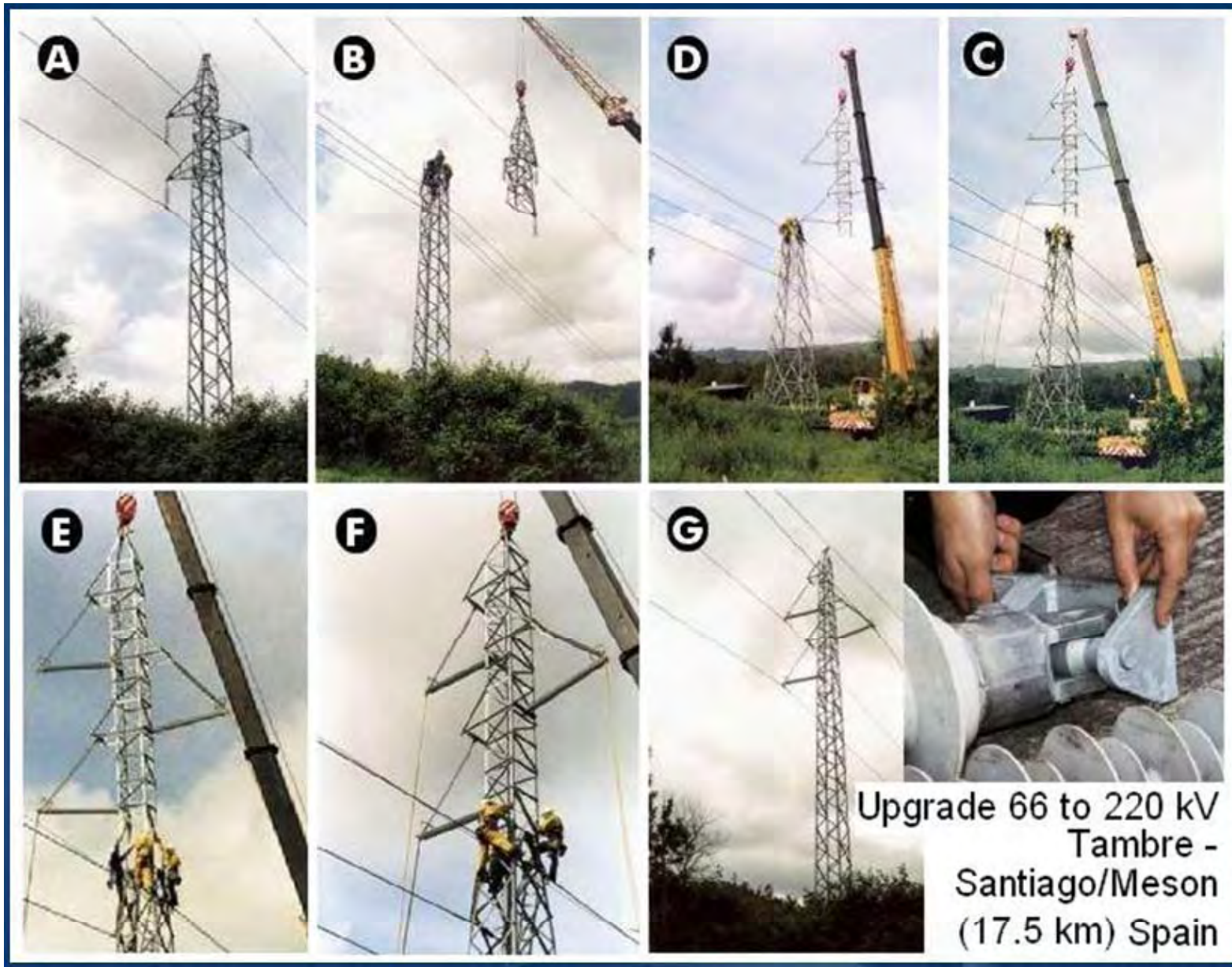


230 kV Compact Lines (USA)

66 kV => 220 kV
(Union Fenosa - Spain)



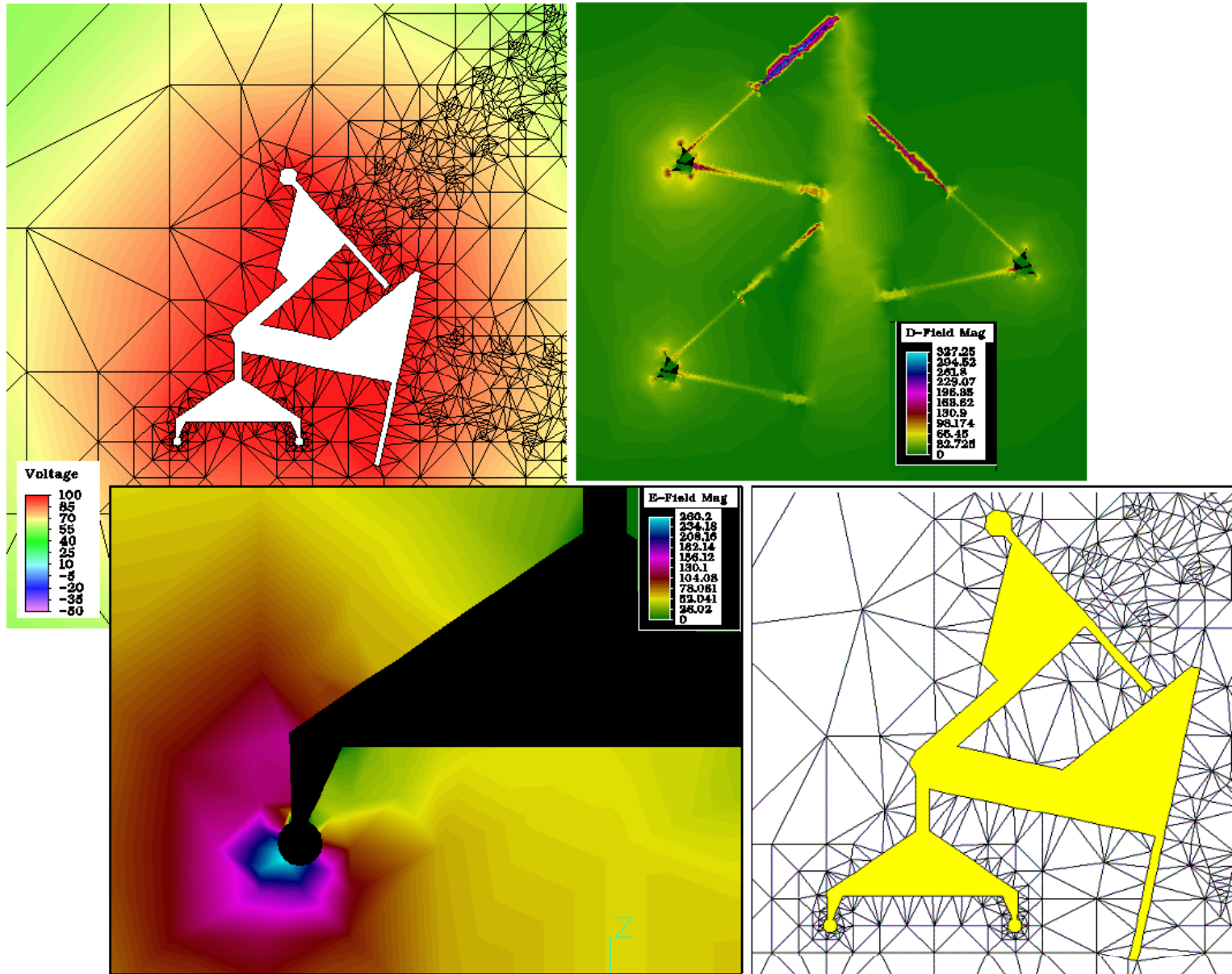
- Pokretne konzole na čeličnorešetkastim i poligonalnim konstrukcijama stupova...



- Kompaktiranje s povećanjem naponske razine (66⇒220 kV)

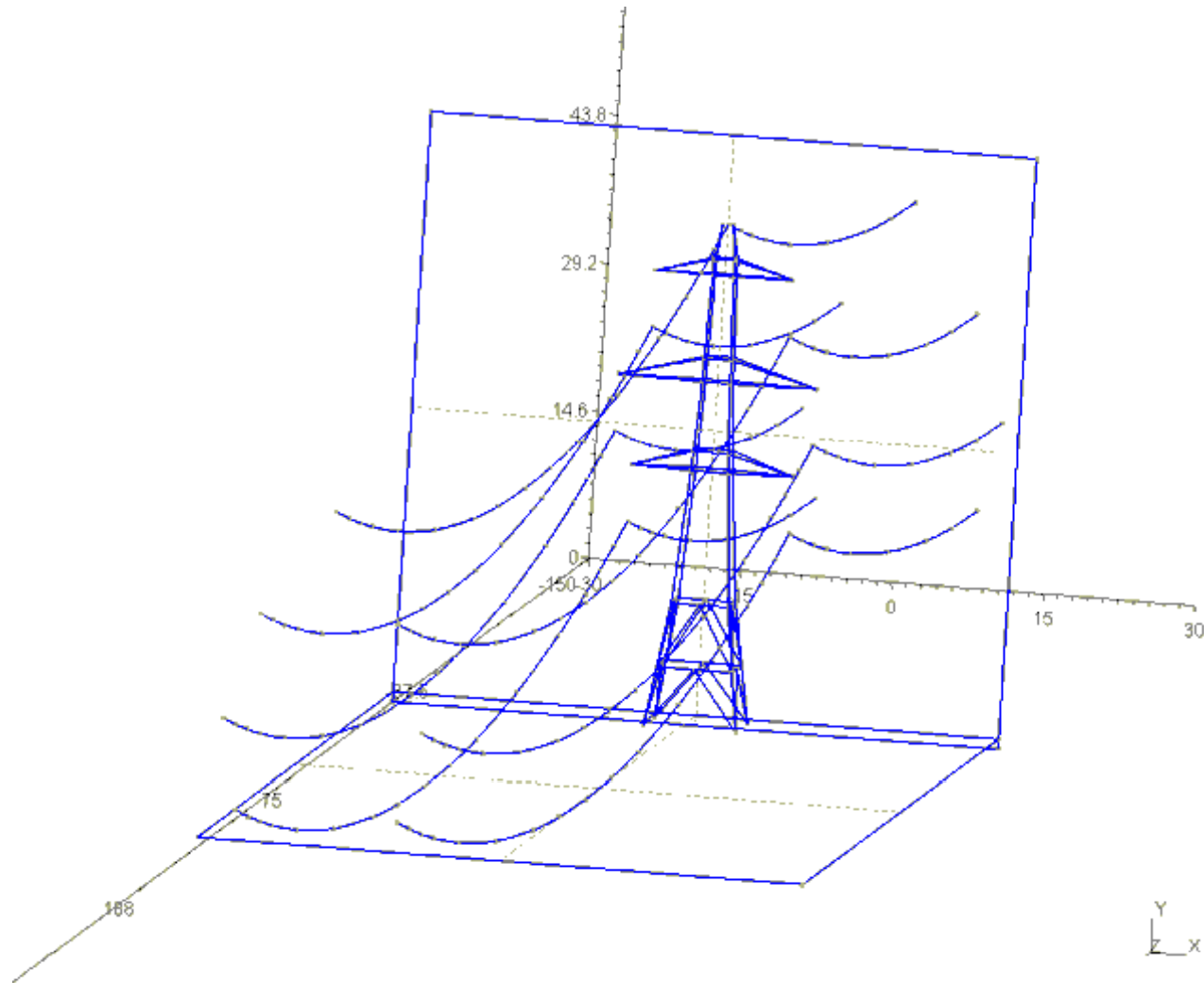
Provjera kompaktiranog rješenja

- Razmatrano predloženo rješenje kompaktiranja, Dalekovod d.d. (gosp. Grozdanić)
- Nije jednostavan zadatak i pretpostavlja u najmanju ruku zadovoljavajuće dielektričko i mehaničko rješenje provjereno ispitivanjima
- Konfiguracija glave stupa provjerena na nivou zadovoljavanja uobičajenih sigurnosnih razmaka
- U rasponu potrebni međufazni rastojnici
- Potreba cjelovitog rješenja na planu koordinacije izolacije uz vjerojatnu primjenu odvodnika prenapona (tek treba razmotriti)
- Napravljeni preliminarni proračuni polja u području glave stupa
- Mogući detaljni proračuni EM polja koristeći postupke razvijene za klasična rješenja
- **U sadašnjoj fazi naglasak je na analizi statičkih i dinamičkih karakteristika mehaničkog rješenja**

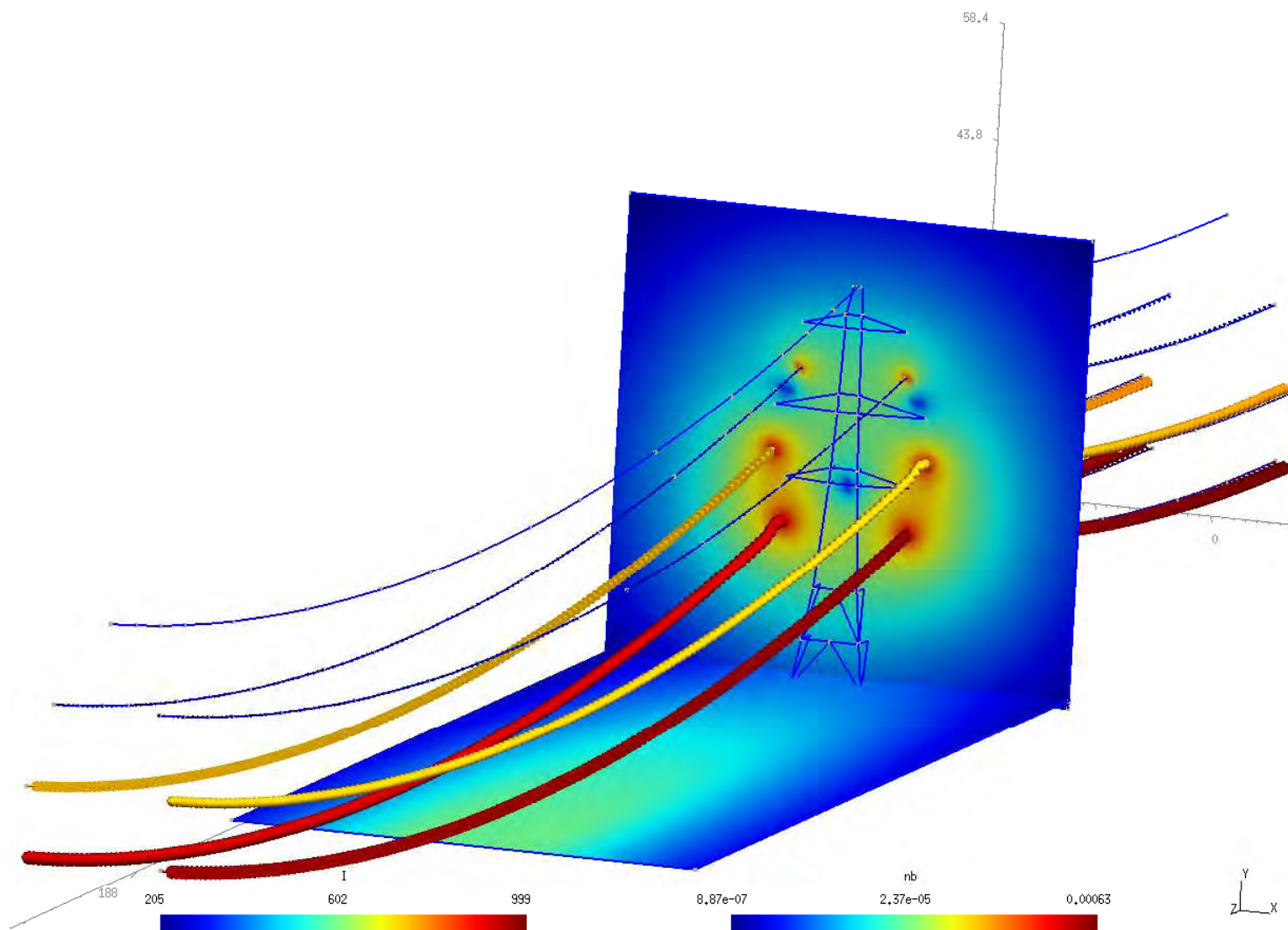


- ... "Raspodjela potencijala, D-polje/E-polje , FE mreža".

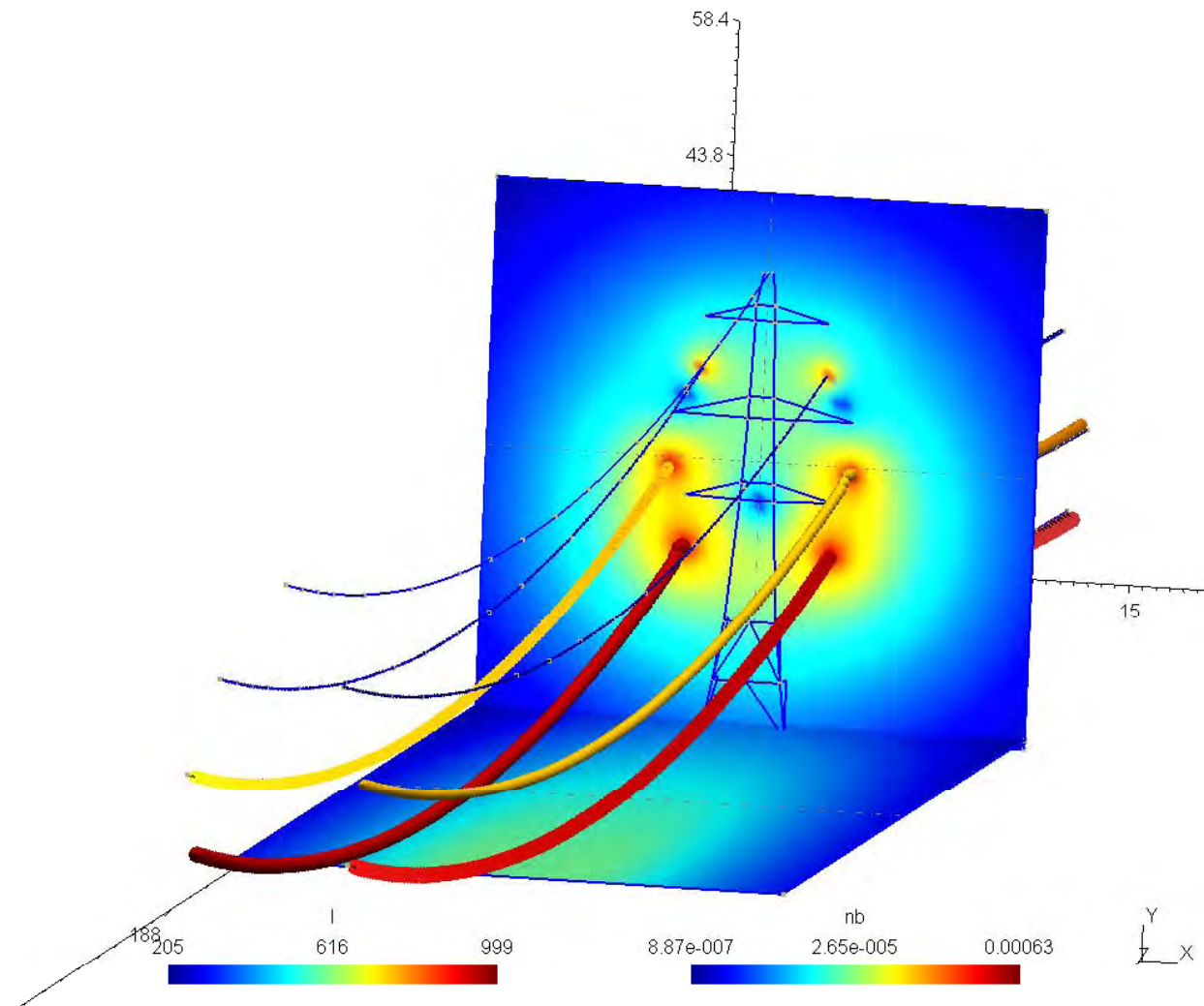
Dvosistemski vod, fazna struja 1000 A



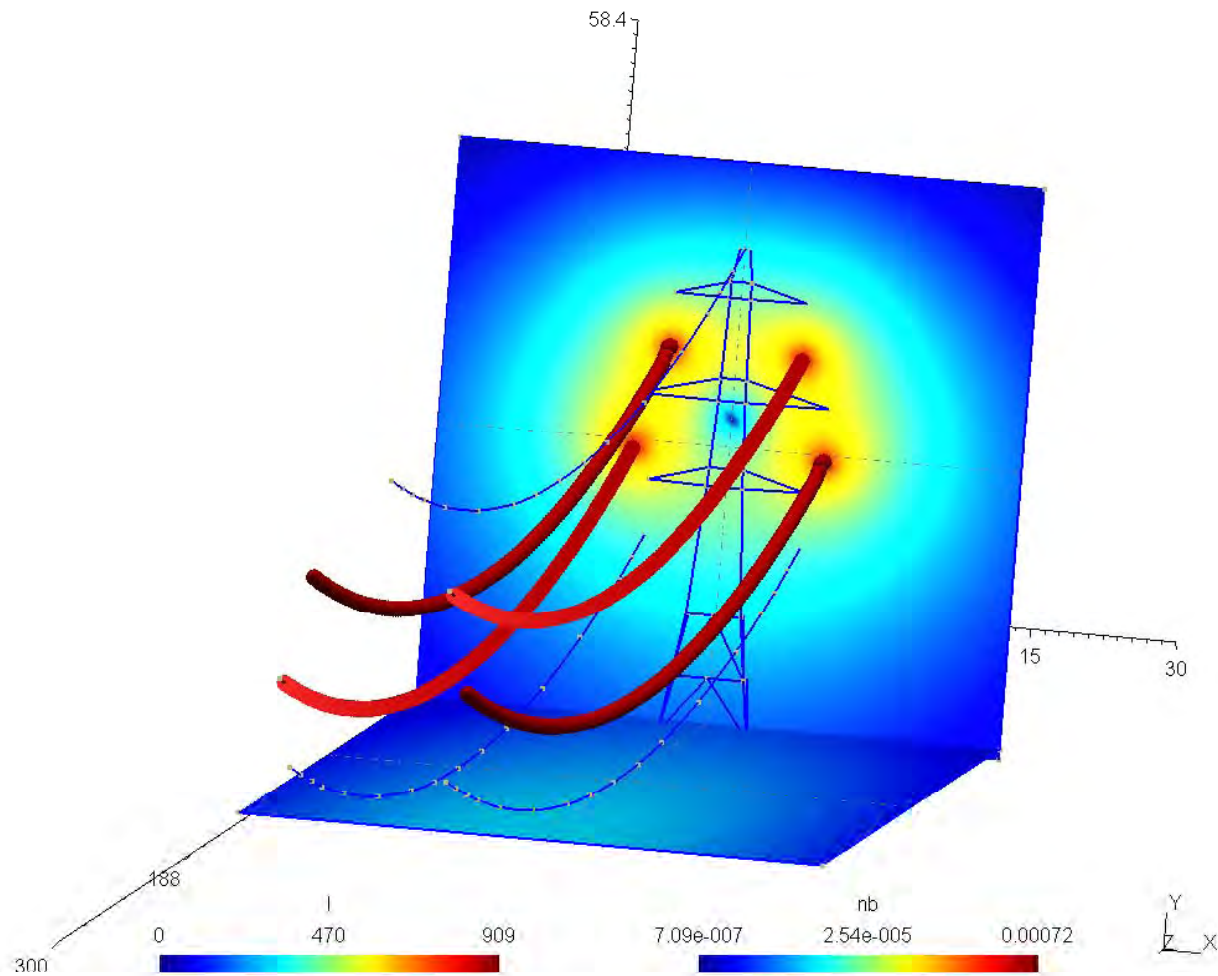
Biot-Savartov zakon, program getDP



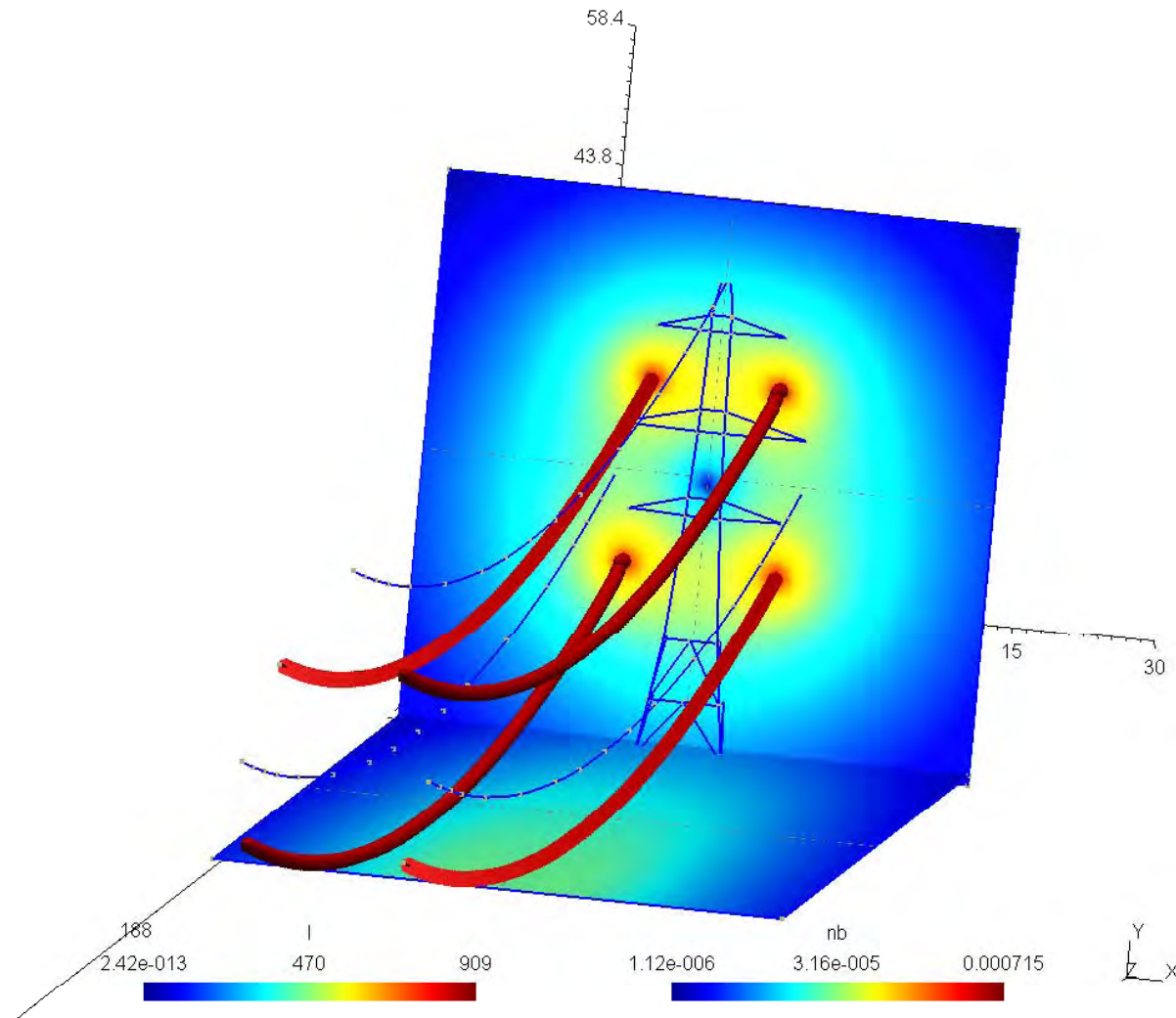
B polje, 3D geometrija, 1D strujni elementi, mapiranje u ravnini



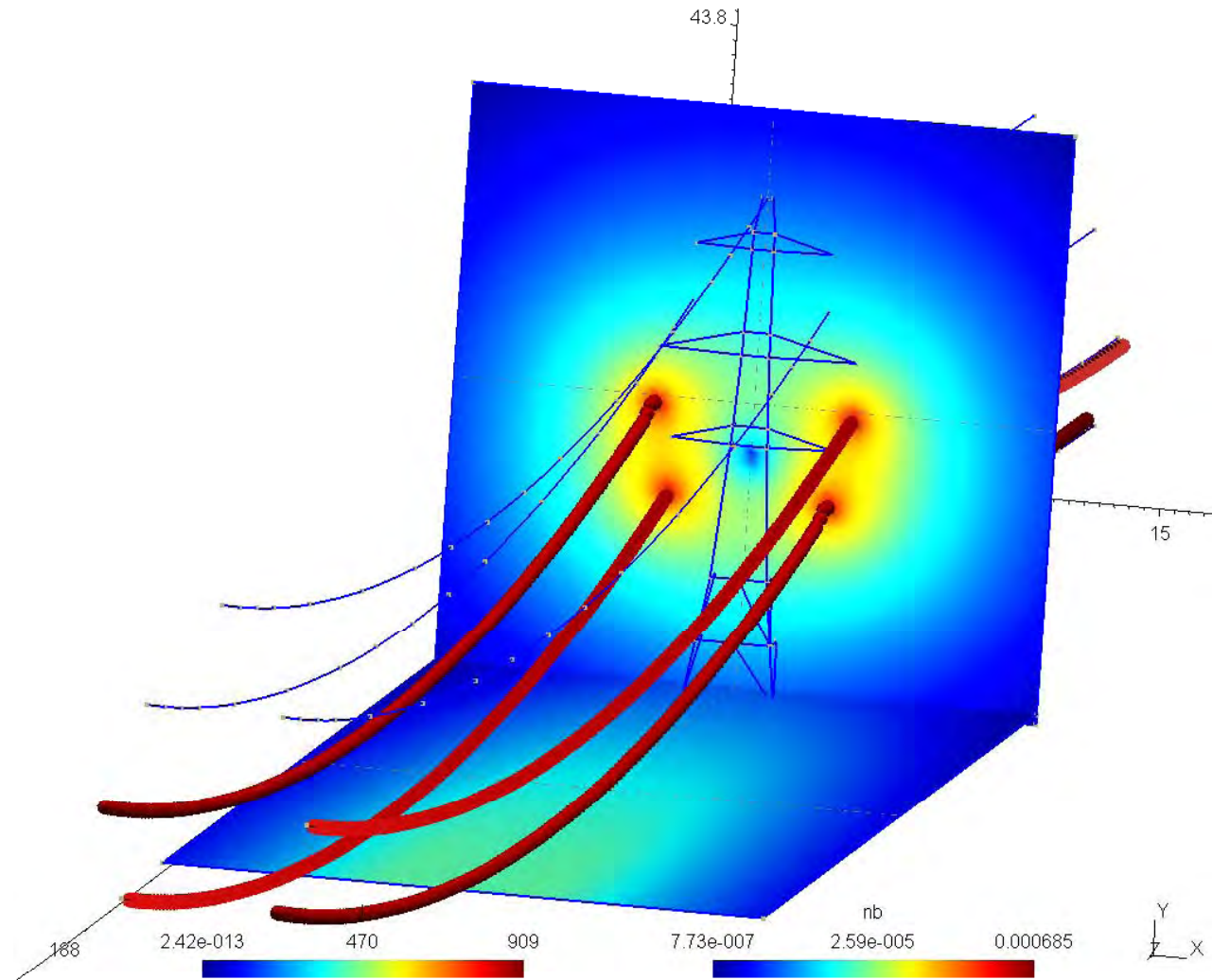
Raspodjela polja za fazni trenutak 0



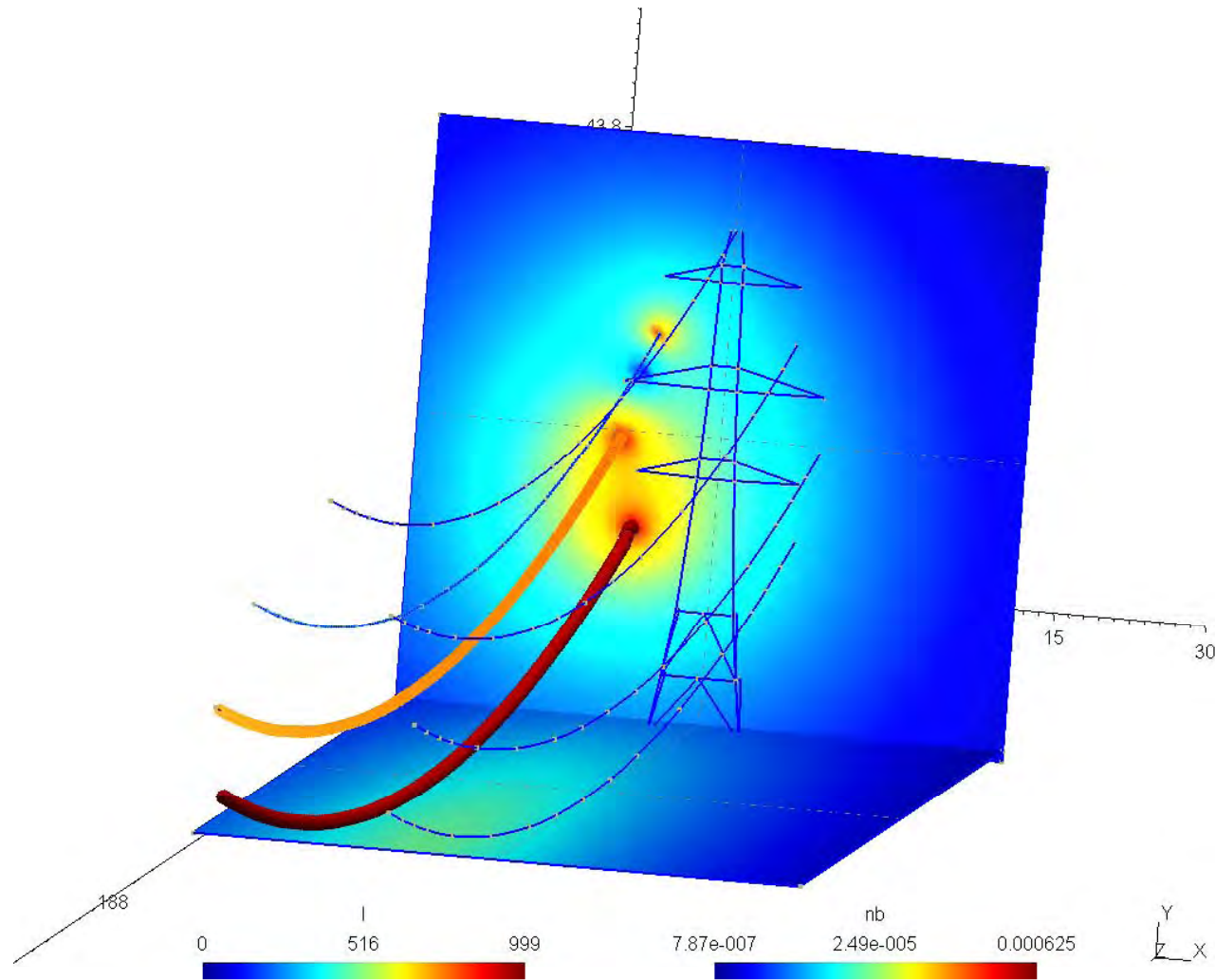
Raspodjela polja za fazni trenutak 120



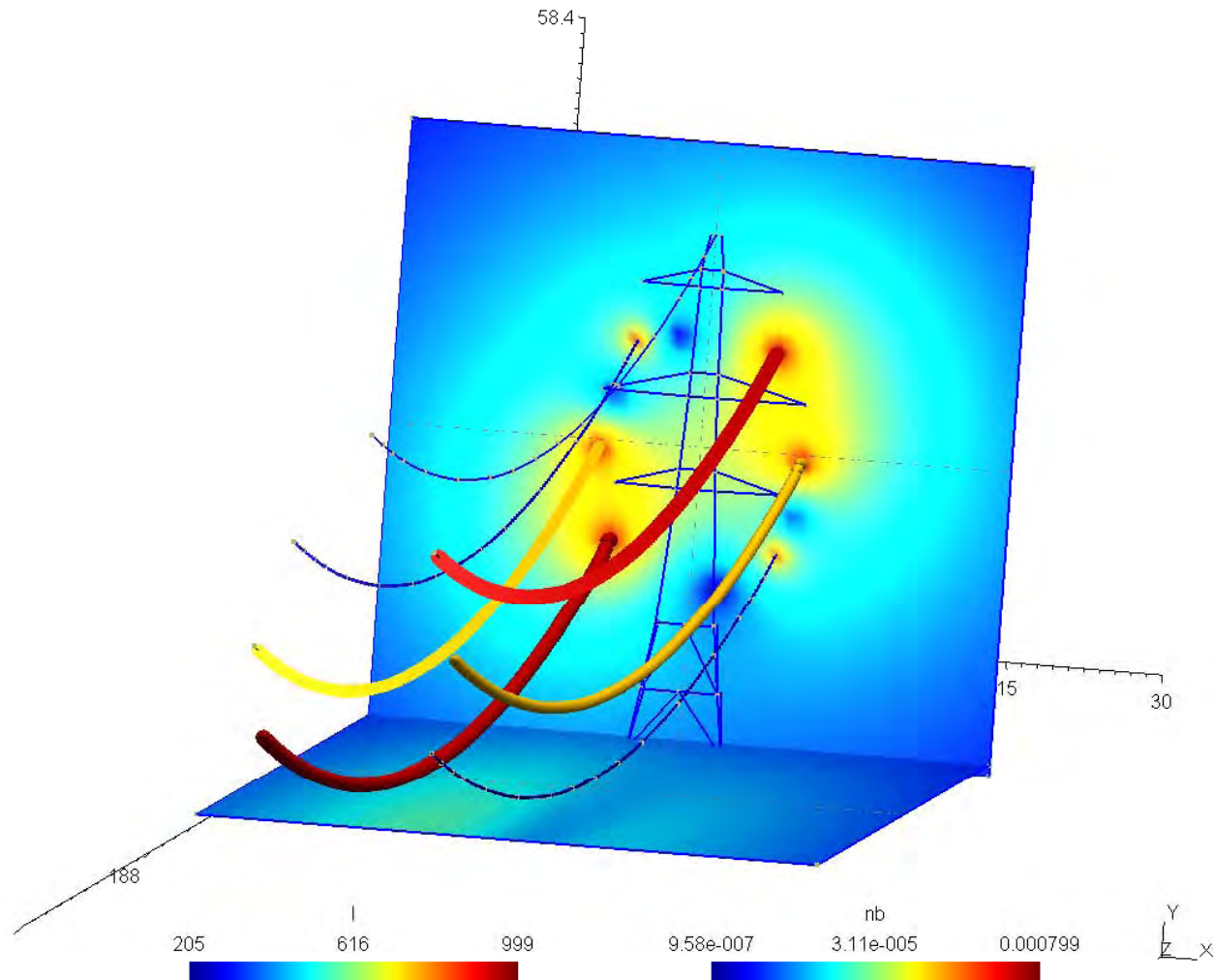
Raspodjela polja za fazni trenutak 240



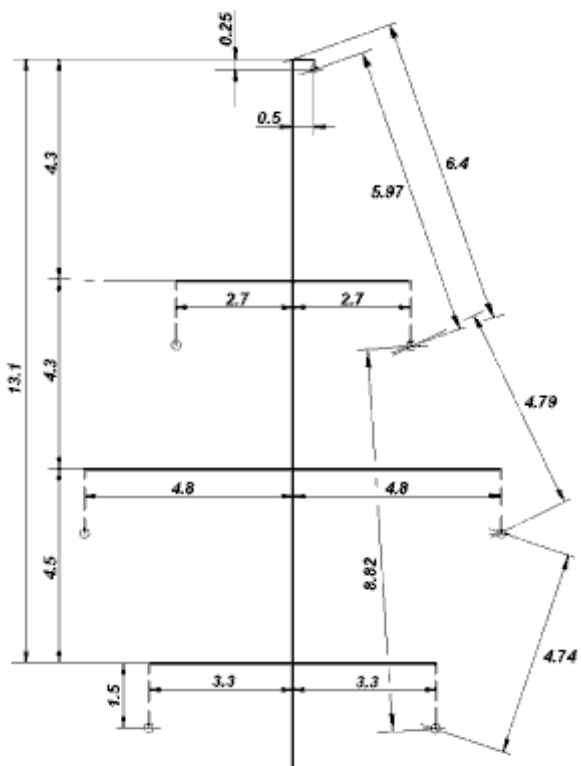
Raspodjela polja za jedan sustav u pogonu



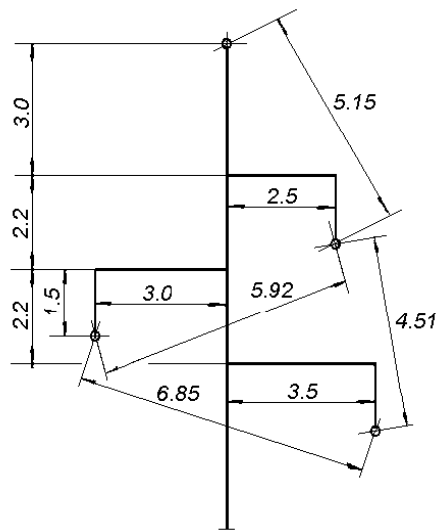
Raspodjela polja za nesimetrično opterećenje



Početak razmatranja kompaktiranja glave stupa

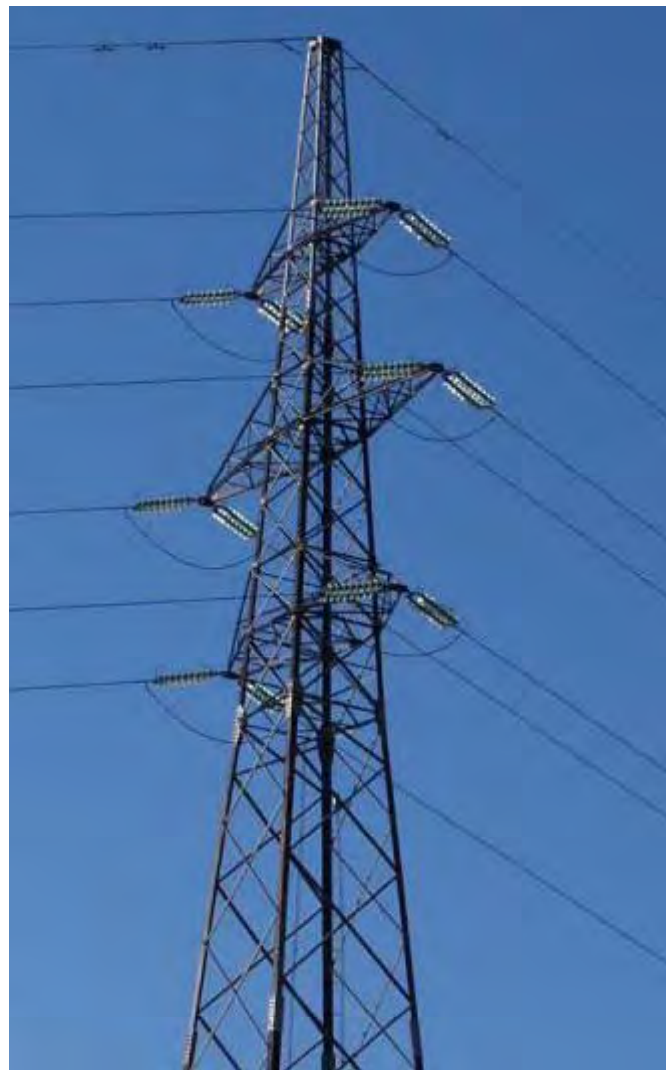


Skica glave nosivog stupa oblika "bačva"
za tlak vjetra 750...1500 N/m²



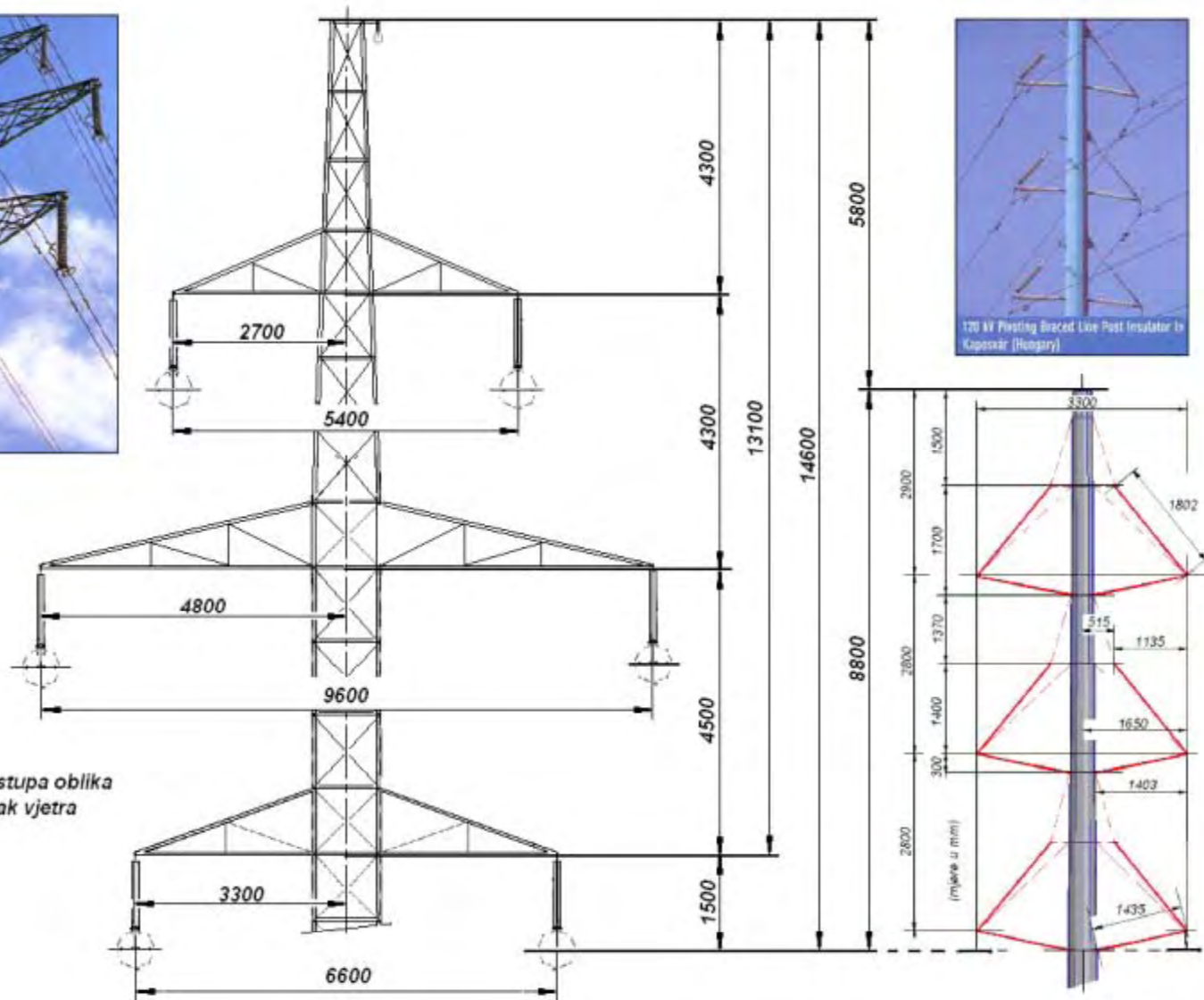
Skica glave nosivog stupa oblika "jela"
za tlak vjetra 600 (750) N/m²

- Glava jednosistemskog nosivog stupa "jela"



- Jarunska "zatezna bačva" (110 kV)

- Visina glave (vrata) nosivog stupa "bačva" nad osnovkom donje nepokretne konzole = 13.1 m.



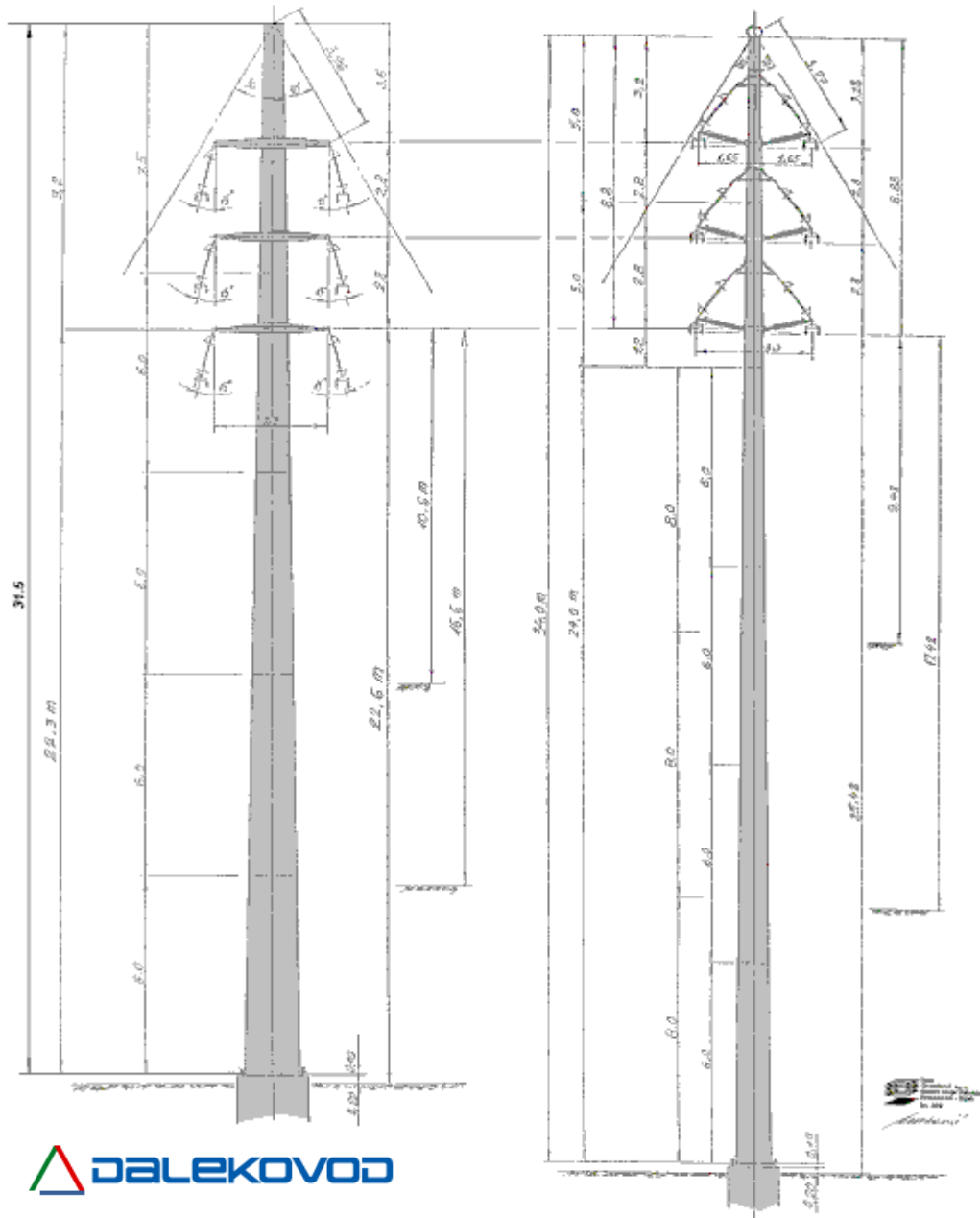
Skica glave nosivog stupa oblika "bačva" (110 kV) za tlak vjetra 750 - 1500 N/m²



- Smanjenje siluete "bačva" ⇒ "pokretne konzole" => za jednake uvjete, duljine raspona i zategnutosti, početnu 5.8m zalihu visine stupa treba smanjiti (tj. povisiti ovjesišta donjih v.) zbog povećanih provjesa (alt.) u odnosu na klasične raspone (Wycisk!)

ZATEZNI STUP "SUN"

NOSIVI STUP "SUN"



■... Siluete poligonalnih usadno/nasadnih, uzdužno varenih, u razvoju domaćeg proizvođača

(DalekovoD d.d. Zagreb)

- lijevo zatezni,
- desno nosivi stup s pokretnim konzolama;

...

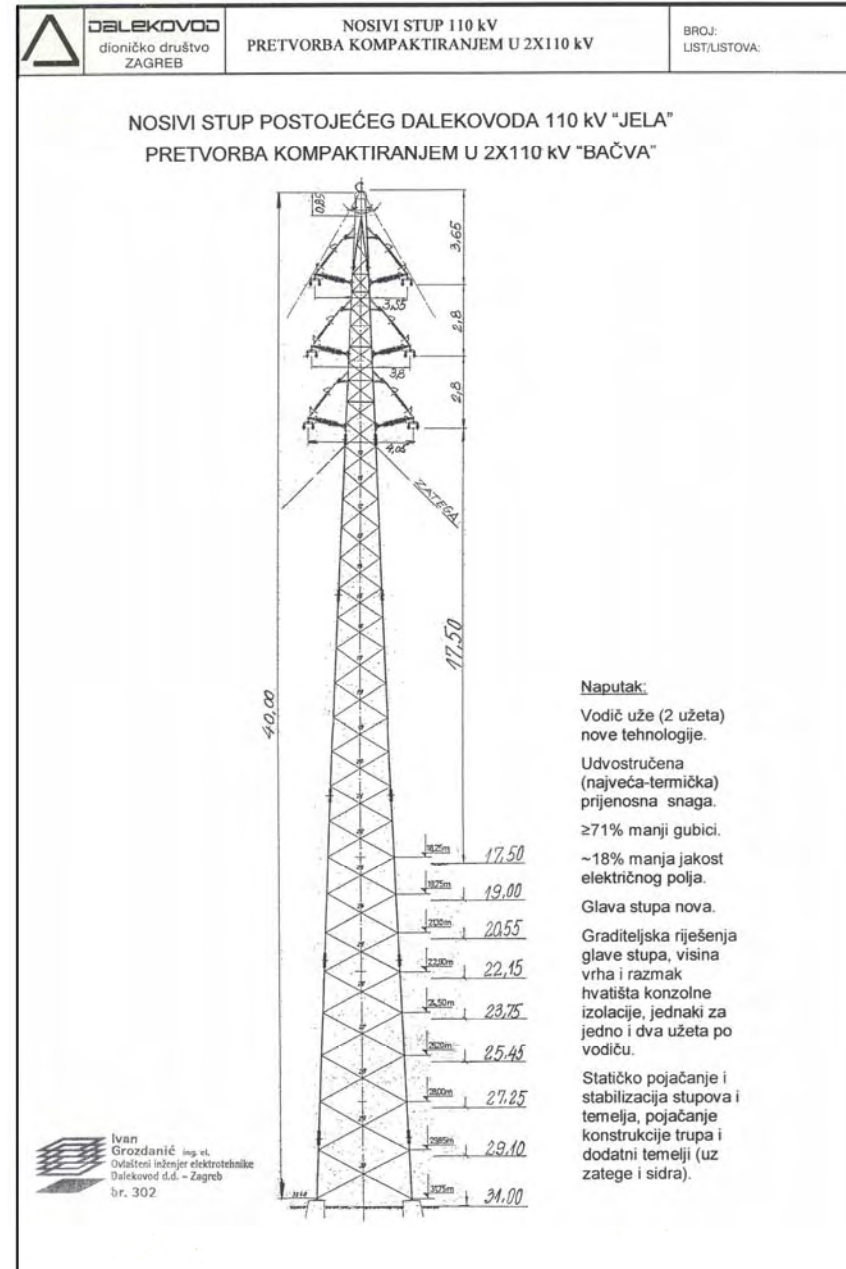
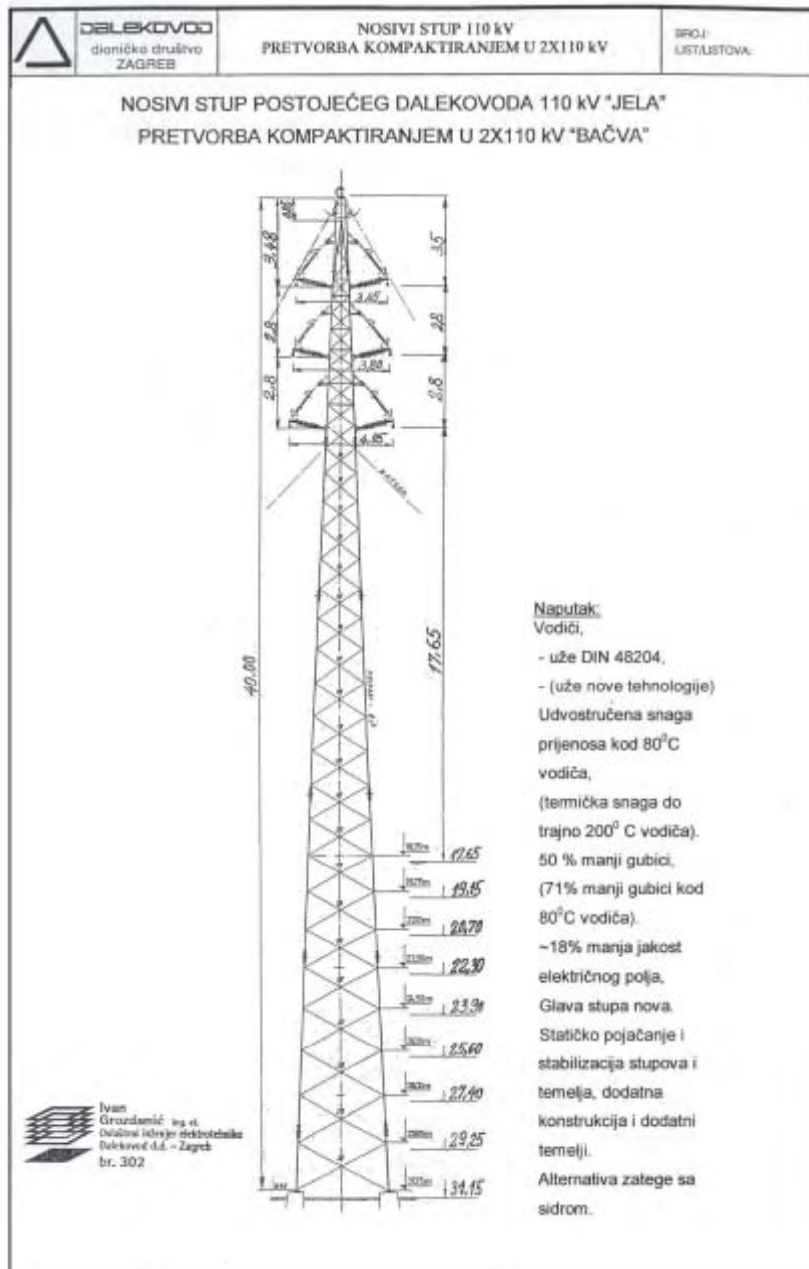
- jednostavna ugradnja (montaža) stupova,

- dobra estetika uklapanja u okoliš,

- ... nužan razvoj postupaka podizanja vodiča na pokretne konzole...

© s usmenim dopuštenjem

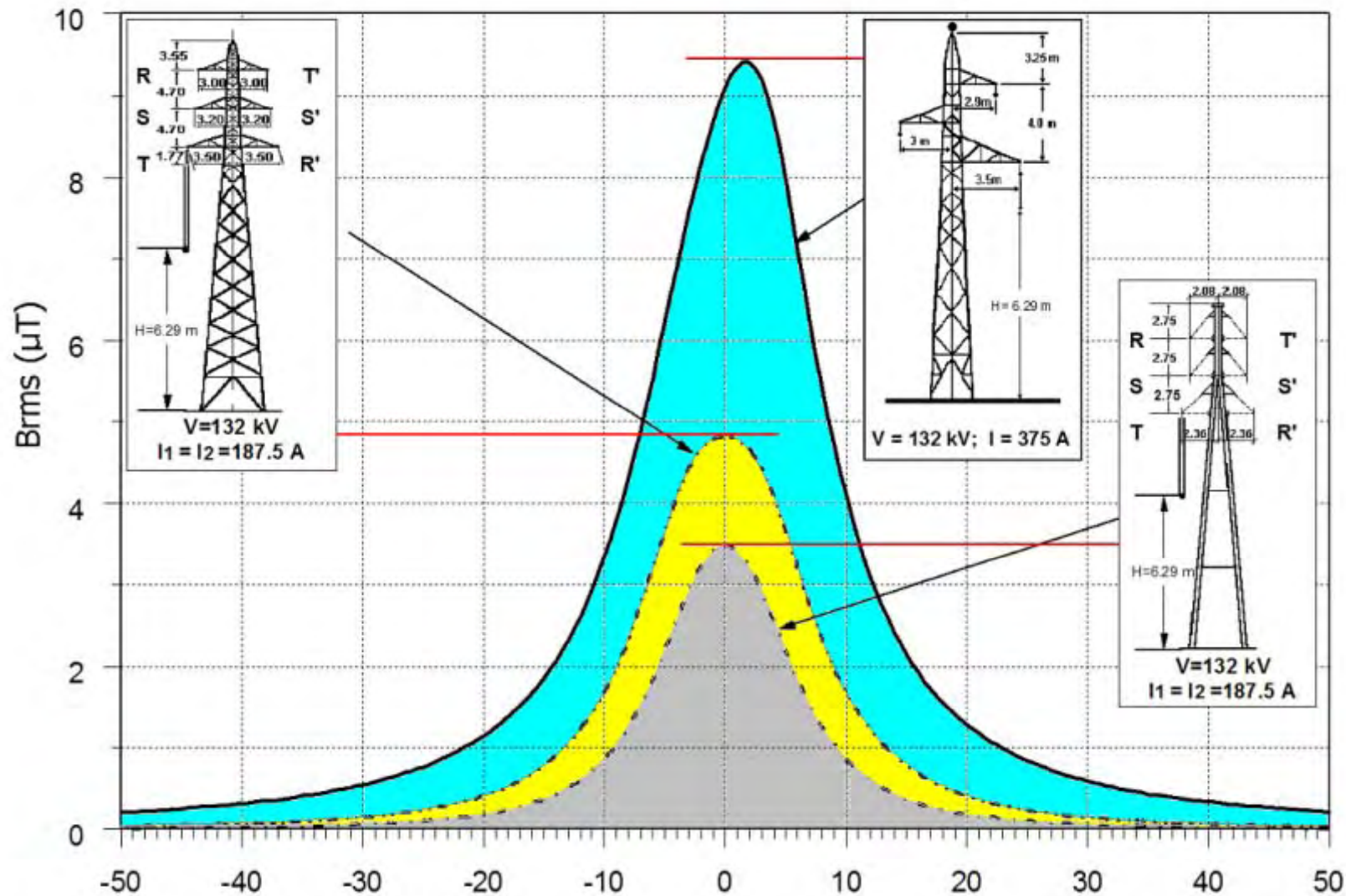
projektanta Ivana Grozdanića, ing.el.stroj.
(DalekovoD d.d. Zagreb)



- ... Prijedlozi č.reš. trupova dvosistemskih nosivih stupova (110 kV) s pokretnim konzolama, s tip. užetom (lijevo), odnosno snopom ACCC vodiča (desno).

Dodatne mogućnosti

- Originalni prijedlog kompaktiranja sadrži dodatna rješenja:
 - Podizanje naponske razine na postojećim stupovima (35 na 110 kV, 110 na 220 kV, 220 na 400 kV)
 - Zamjene jednosistemskih rješenja dvosistemskim da se poveća prenesena snaga
 - Ponuđena su rješenja zahvata na postojećim vodovima kao i izvedbe novih kompaktiranih vodova
- Ova prezentacija ograničena je na razmatranje revitalizacije postojećih 110 kV vodova ili izvedbu novog 110 kV dalekovoda u kompaktiranoj izvedbi
- Više je pažnje posvećeno modeliranju specifičnosti kompaktirane izvedbe nego sagledavanju svih aspekata izvedbe kompaktiranog dalekovoda
- Financijski aspekti nisu detaljnije razmotreni ali se očekuje da ostanu u okviru postojećih cijena ili da budu inicijalno 10 do 20% skuplji, stvarne brojke su ovisne o konkretnoj izvedbi



GUIDELINES FOR MITIGATION TECHNIQUES
OF POWER-FREQUENCY MAGNETIC FIELDS
Ener Salinas, Cigré TF C4.2.04

Distance from line centre (m)

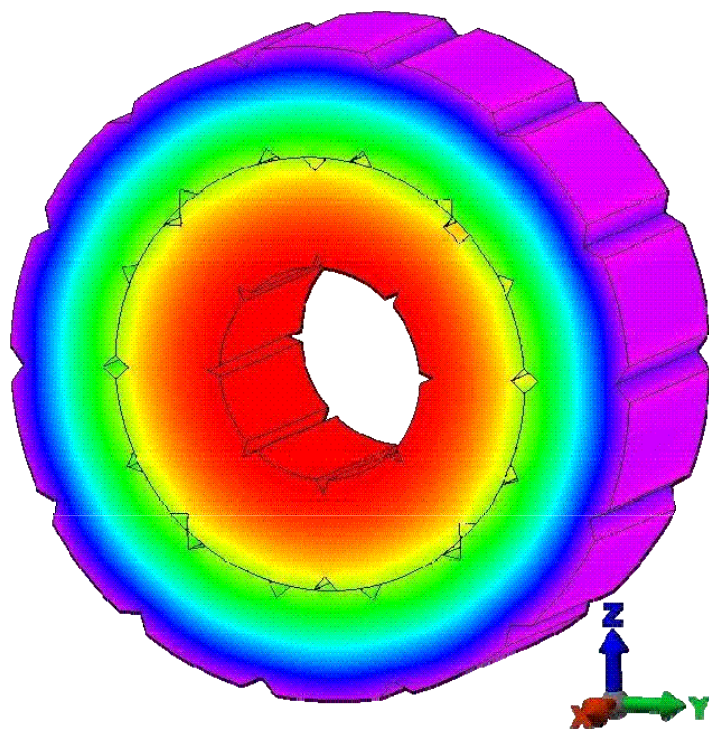
- Usporedba jakosti magnetskog polja za različite konstrukcije stupova (132 kV: dvosistemska i jednosistemska jela; plošni stup ABB).

Nove tehnologije u izradi vodiča

- Vodiči s čeličnom jezgrom

ACSR: Aluminum Conductor Steel Reinforced

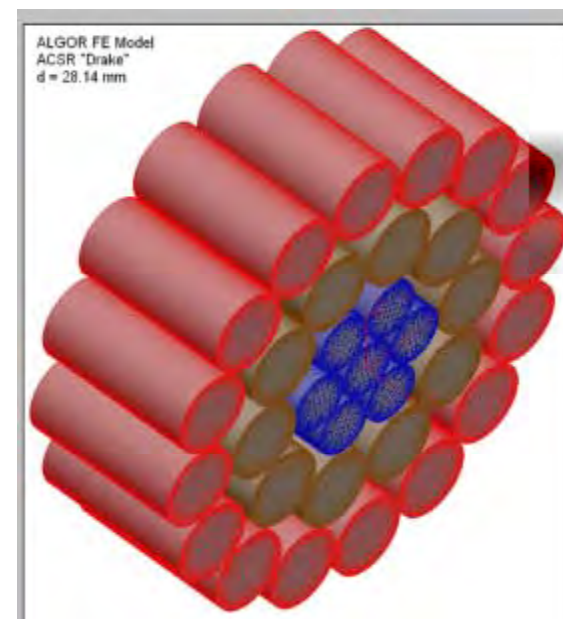
ACSS: Aluminum Conductor Steel Supported

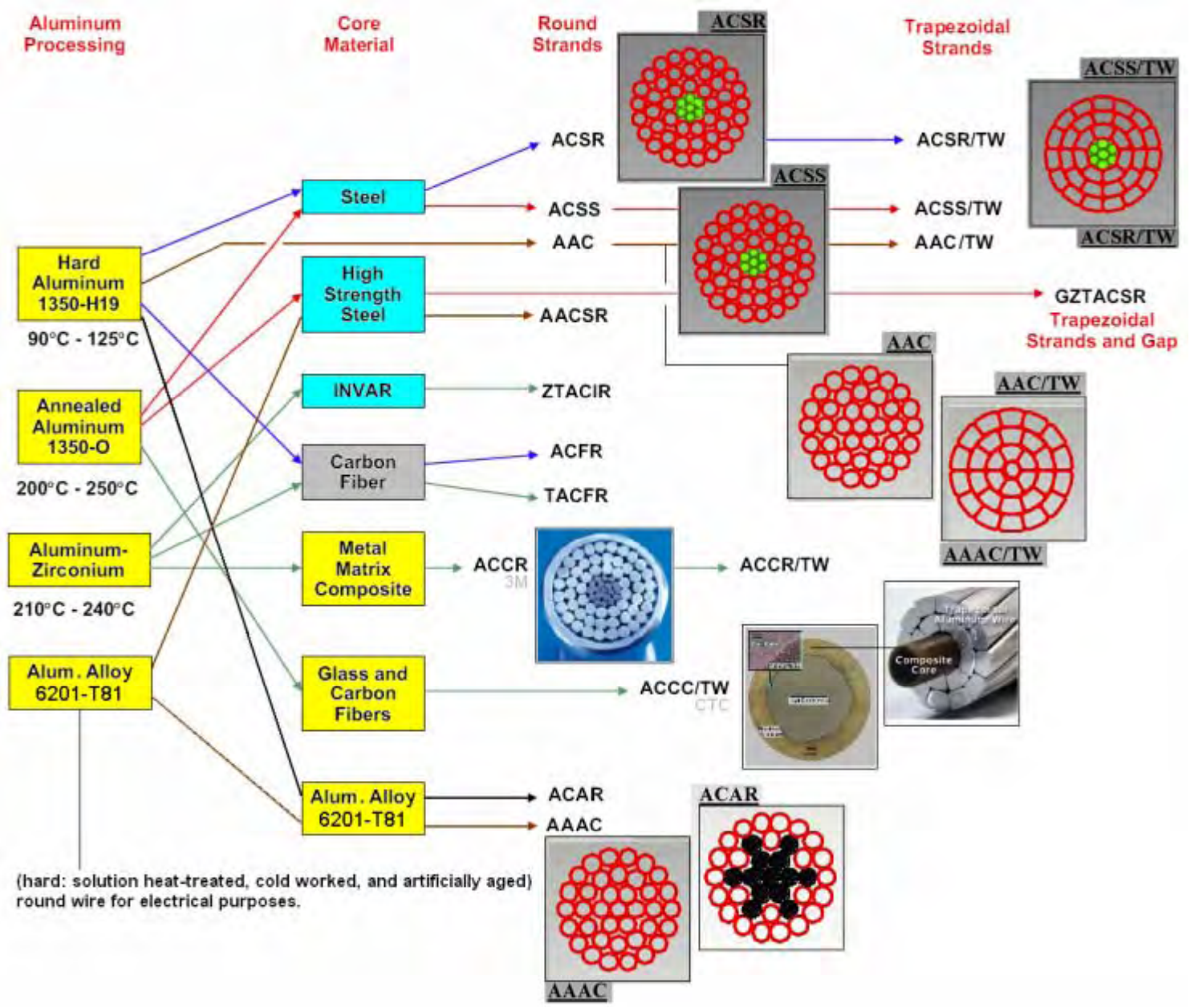


- Vodiči s kompozitnom jezgrom

ACCC: Aluminum Conductor Composite Core (CTC)

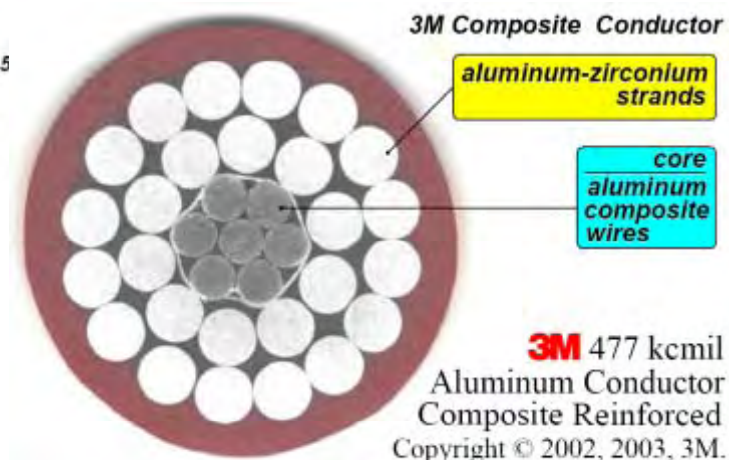
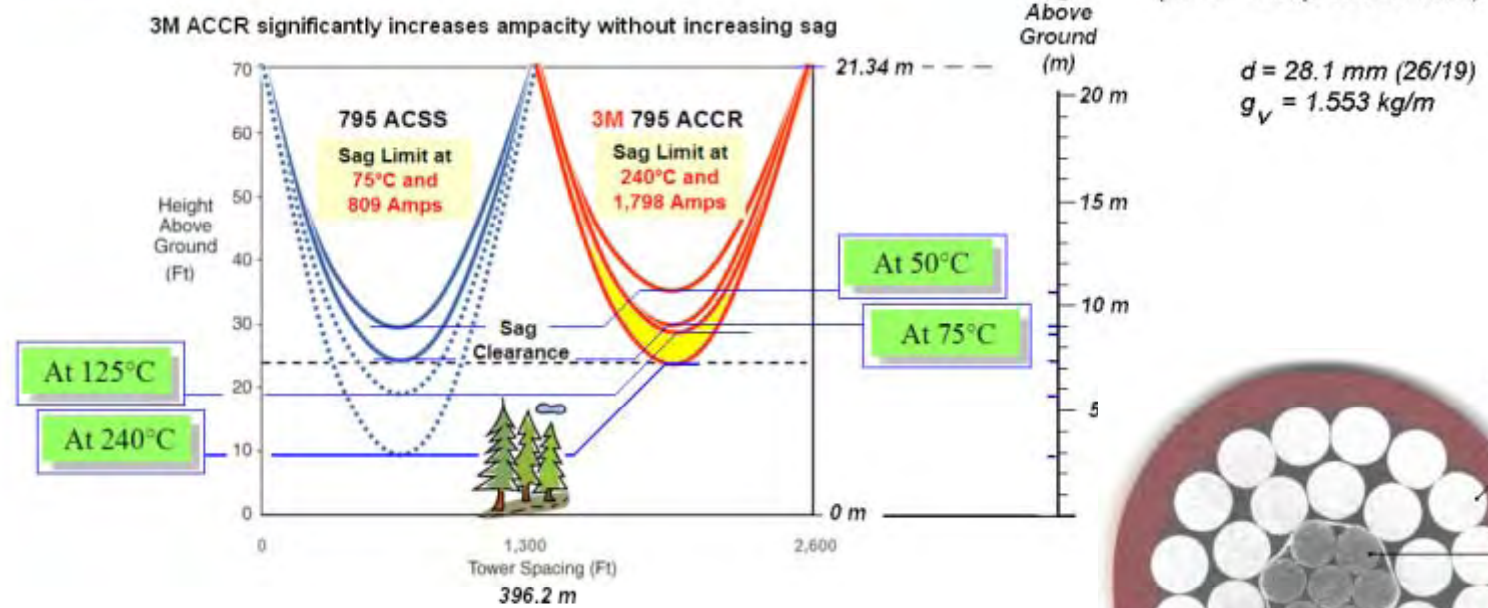
ACCR: Aluminium Matrix Conductor Composite Reinforced (3M)



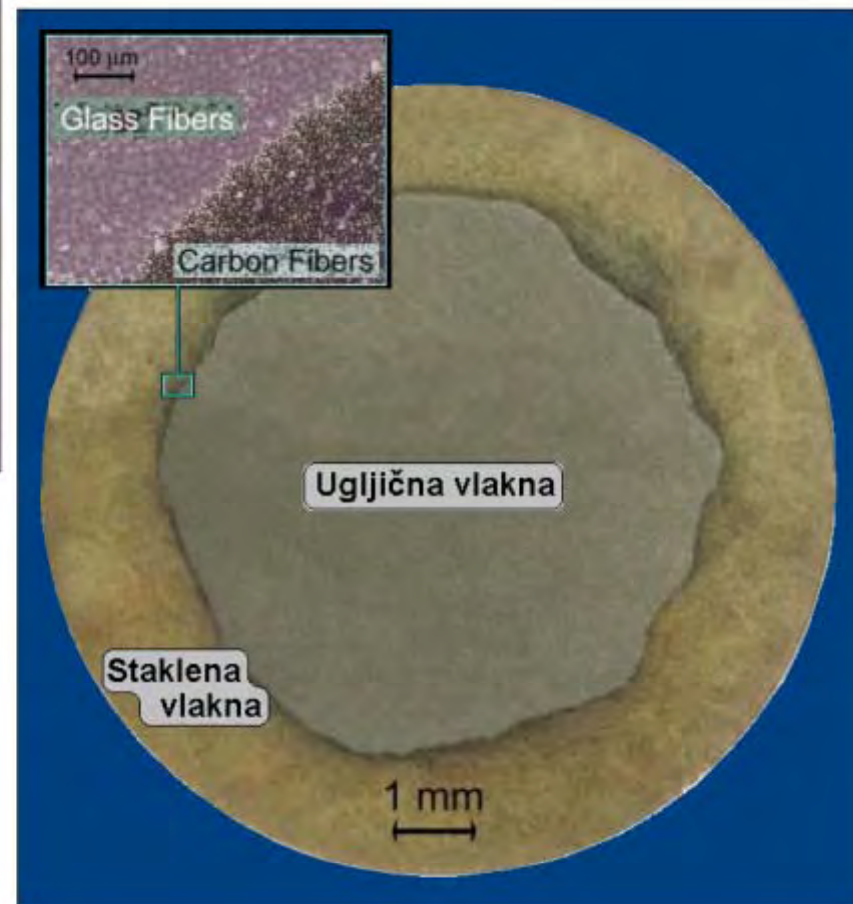
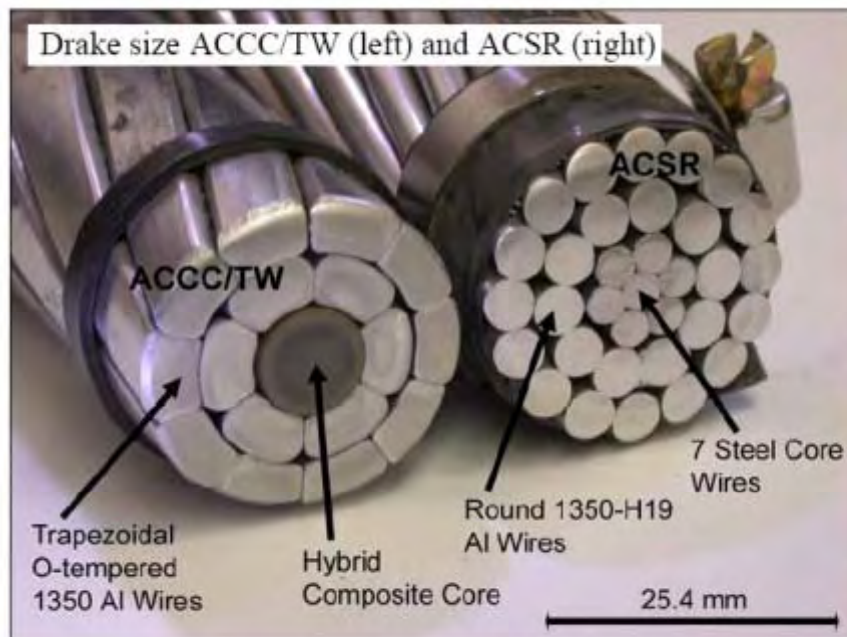


■ Pregledna shema različitih vrsta vodiča

...basic scheme of J.P. Stovall, ORNL, US DoE (extended by t.f.)



- Usporedba provjesa ACSS/ACCR vodiča na temperaturama 50...240 °C



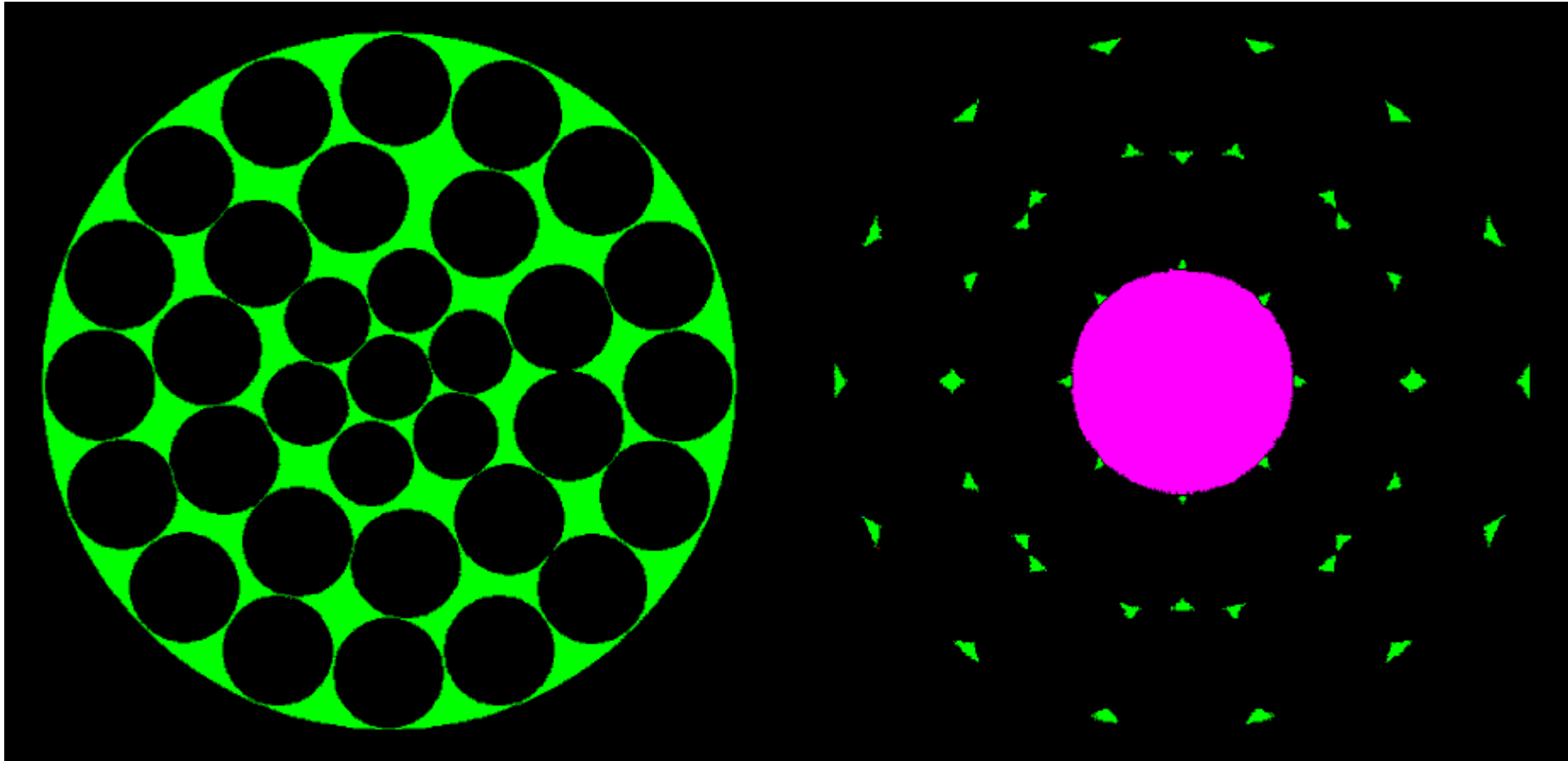
- 36th International SAMPE Tehnical Conference (San Diego, USA, 2004); ACCC^{TW}-CTC Tech.Reports (Internet).
- Torayca T700S **Carbon fibers... 4900 MPa!**; E-glass (boron-free) 1520...3400 MPa (Galv. Steel in ACSR 1300 MPa).
- Smekšani "1350-0 temperirani" aluminij malo participira u ukupnoj nosivosti ACCC/TW vodiča.

Očekivana svojstva kompozitnih vodiča

- Povećanje strujne opteretivosti do 100%
- Veća električna vodljivost
- Značajno reduciran provjes na povišenim temperaturama
- Pokazuju svojstva samoprigušenja oscilacija
- Reducirani provjes i povećana čvrstoća kompozitne jezgre dozvoljavaju povećanje zatezne sile i veličine raspona
- Nemetalna jezgra eliminira problem bimetalne korozije
- Ostala svojstva (npr. težina po metru dužine, naprezanje) i način manipulacije olakšava zamjenu postojeće užadi novom

Poređenje ACCC i klasični vodič

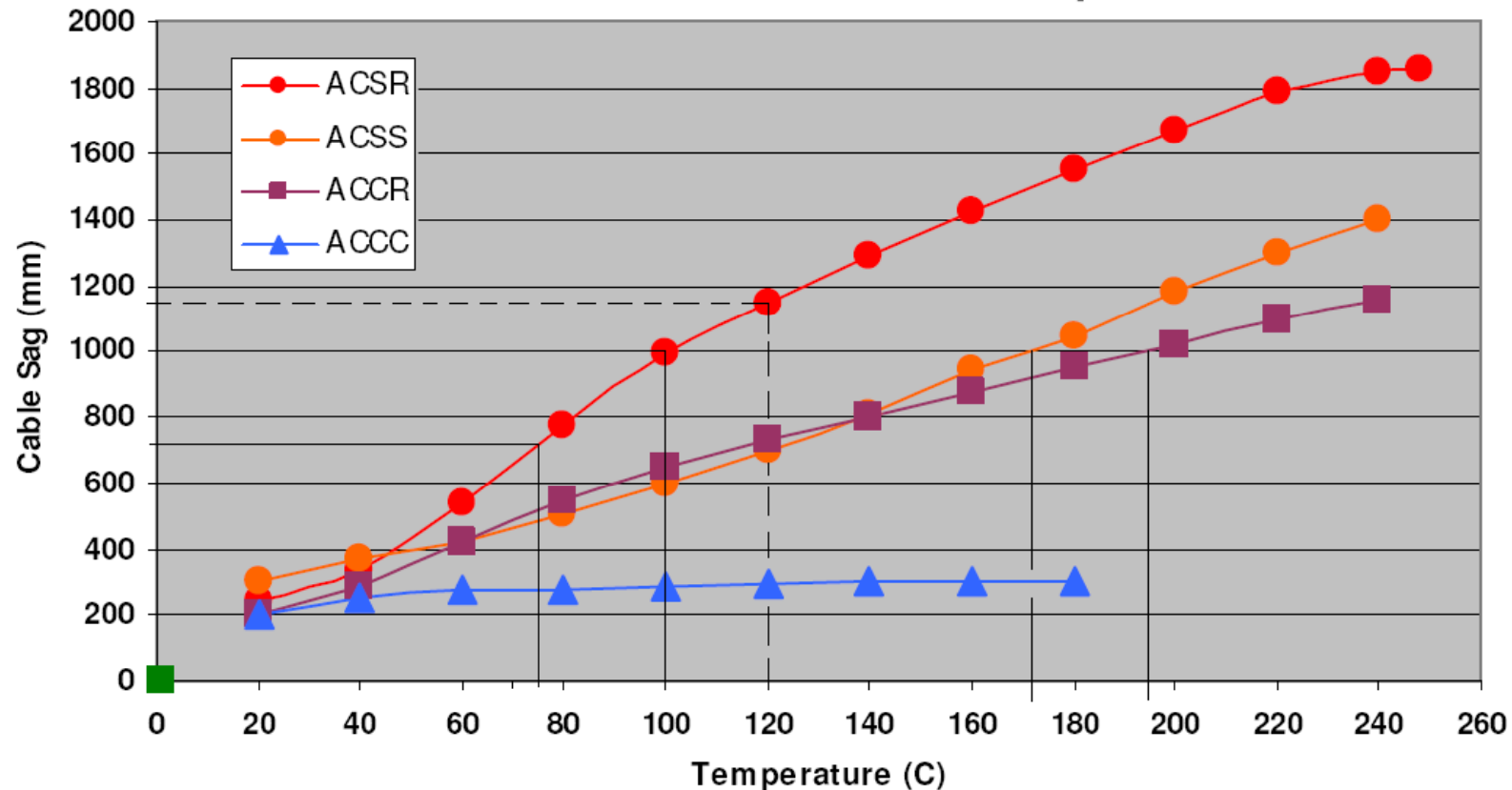
- Nešto lakši (9.1:9.7 N/m) i “čvršći” (103:86.4 kN) od klasičnog (dv \approx 21.9 mm)
- bolja popunjenost presjeka (95%:75%) - više aluminija
- nešto bolja vodljivost smekšanog (0-temperiranog) aluminija tipično 2 do 3%
- temperaturno slaboistezljiv vodič - malo povećanje provjesa s povećanjem temperature
- ($\alpha_{CTE,ACCC,jezgre} \approx 2E-6 \ll \alpha_{CTE,ACSR} \approx 19E-6$)
- bez učinaka bimetalne korozije ACSR: rupičasti “pittinzi” čeličnih žica jezgre, ali i galvanska korozija aluminijskih žica u prisustvima stvorenih elektrolita \checkmark onečišćenja i/ili slanost atmosfere; H₂O, SO₂, NaCl, HCl, AlCOH+AlCl₃ , HN0₃ ,...



- Razmjeri neispunjenog presjeka klasičnoga alučeličnog vodiča (ACSR lijevo) i aluminijskoga vodiča s kompozitnom jezgrom (ACCCTM desno).

Conductor Comparison

Drake size conductors at 1600 amps



Measured sag for 68.8 m (225 ft) indoor test spans

Comparison of ACCC/TW with the ACCR, ACSS and ACSR Lines

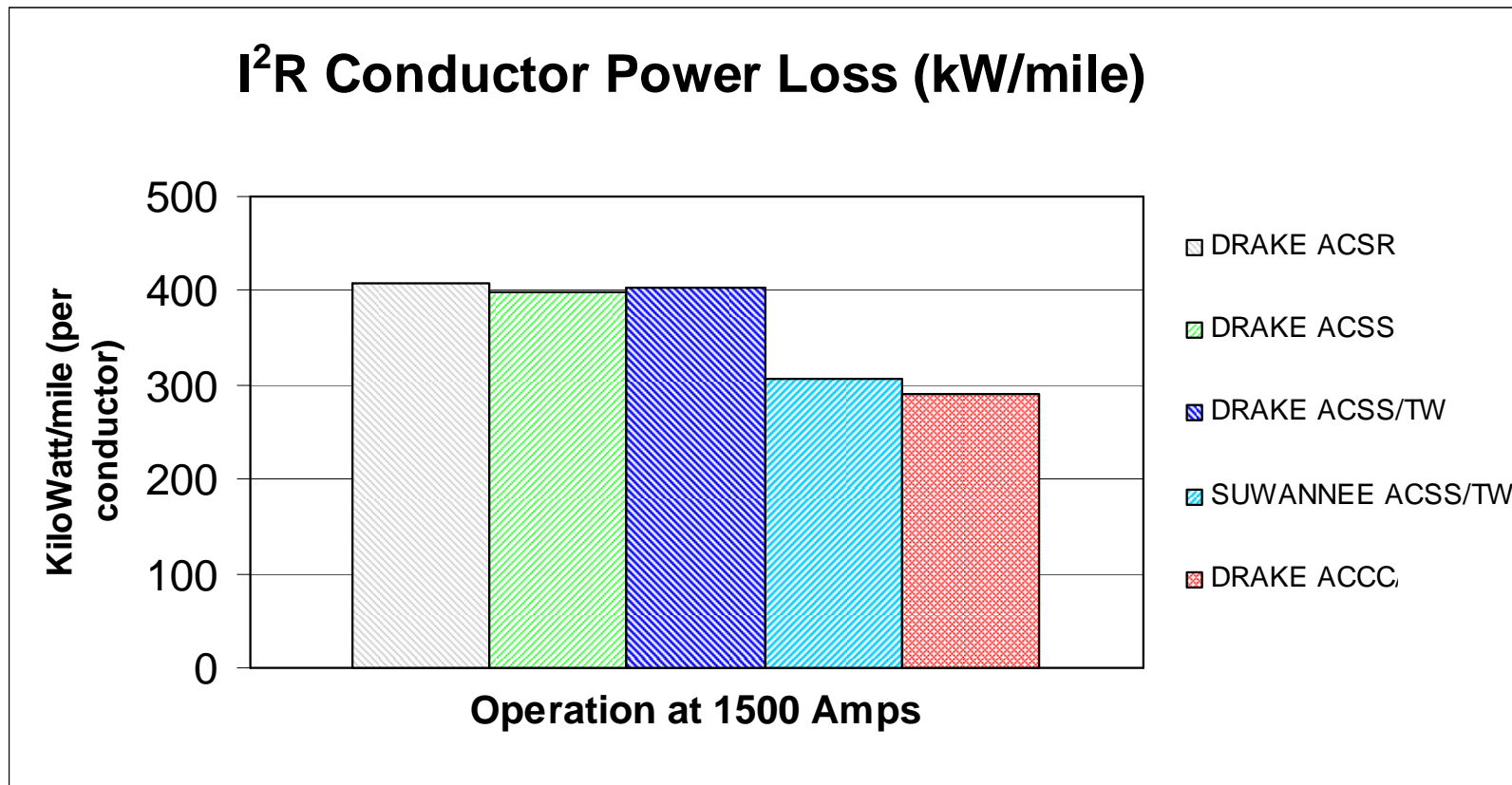
Eric J. Bosze, Ahmad Alawar, Amanda Lim, Jason Randy, Yun-I. (Roy) Tsai and Steven Nutt

University of Southern California, M.C. Gill Foundation: Composites Center Report No: USC-CompComparison-Final June 15, 2006

- Usporedbe provjesa na različitim temperaturama, za vodiče ACSR, ACSS, ACCR i ACCC.

- znatna (> 20%!) smanjenja strujnih gubitaka na temperaturama klasičnoga alučeličnog vodiča,
- hladniji vodič pri jednakim prijenosnim opterećenjima (cca 7°... 10°C za uvjete prirodne konvekcije; ACSR Hawk 75°C),
- mogućnost rada na povišenim (100...150 °C), ali i visokim temperaturama (do ≈ 180...200°C);
- velika zaliha sigurnosti od pregaranja vodiča za predviđeni rad na uobičajenim temperaturama ACSR-a; (potreban razvoj HT steznr i ovjesnr opreme)
- moguća udvostručenja prijenosne moći (strateška odluka: povećane temperature traže steznu i ovjesnu opremu kakvoće "HT" ⇒ skuplje)
- bolja protuvibracijska svojstva (veća/učinkovitija prigušenja aeolskih vibracija zbog TW dizajna)
 - preporuka štíćenja vibracija s uobičajenim (*Stockbridge*) prigušivačima
- 2 do 3 puta skuplji od klasičnih (očekivani povrat investicije 6 do 7 godina – ušteda na bubicima)
- ograničena dobavljalivost i broj proizvođača

Smanjenje omskih gubitaka



Razvoj ACCC vodiča

- razvoj započeo 2001 (CTC)
- ispitivanja jezgre i namatanja aluminija
- na kompozitnu jezgru započeta 2003
- komercijalna proizvodnja započela 2004.

- Laboratorijska mjerenja ACCC vodiča i jezgre
- u “nezavisnim” laboratorijima i sveučilišnim središtima
- obuhvatila su uobičajene postupke ispitivanja
 - mehaničkih svojstava
 - električnih svojstava
- Posebna pažnja posvećena ispitivanju kompozitne jezgre

Pogonska iskustva – ispitna polja

- **USA:**
- TX: EPRI–Haslett, Austin Energy–Austin, AEP–San Antonio, AEP–Abelinene, TX
- NY: National Grid–Niagara Falls
- AZ: APS–Phoenix, WAPA–Phoenix, Mohave Electric–Bullhead City
- MI: City of Holland–Holland,
- CO: Xcel Energy–Denver
- KS: City of Kingman–Kingman, Kingman/FEMA–Kingman, Kingman(3)–Kingman
- AR: AEP(2)/(3)–Rogers,
- MO: KAMO(1)–Springfield
- UT:PacifiCorp(1)/(2)–Salt Lake City,

- **Francuska:**
- EDF (1)–Renardieres, RTE/EDF(2)–Minerve,

- **Kina:**
- State Grid (1)–(5): Shanghai, Beijing, Shenhzen, Wuxi, North West
- Lioaning Electric–Lioyang,
- Fujian Power (1)/(5) – Longyan, Xaiman, Nam Ping, Fuzhou, Fujian,
- Puzin Power (1) – Puzin.

- **Popraćeno mjerenjima svih relevantnih parametara**

Conductor	ACSR (Drake)	ACSS/TW	ACCR (Drake)	ACCC/TW (Drake)
	SurAl	Suwannee	3M	CTC
Core				
Core Material	Galvanized Coated Steel	Galvanized Coated Steel	Al matrix/ alumina fiber	Polymer matrix/ carbon-glass fiber
Core Diameter Core Area	10.4 mm 65.6 mm ²	11.4 mm 79.1 mm ²	10.4 mm 64.7 mm ²	9.53 mm 71.3 mm ²
Core Strength	~1300 MPa (~ 85 kN)	1381 MPa (107 kN)	1275 MPa (83 kN)	2158 MPa (154 kN)
Core Modulus	200 GPa	200 GPa	216.5 GPa	117.2 GPa
Core Density	7.78 g/cm ³	7.78 g/cm ³	3.33 g/cm ³	1.9 g/cm ³
Core CTE	11.5x10 ⁻⁶ /°C	11.5x10 ⁻⁶ /°C	6.3x10 ⁻⁶ /°C	1.6x10 ⁻⁶ /°C
Electrical and thermal properties of the aluminum wires				
Al Wire Type (Max. Temp.) Max. Amps	1350-H19 (120°C) 900 A	1350-O (240°C) 2000 A	Al-Zr Alloy (240°C) 1600 A	1350-O (200°C) 1860 A
Al Area	403 mm ²	486.4 mm ²	403 mm ²	517 mm ²
AC Res,ohm/km 75°C 200°C	(includes core) 0.085 0.121	(includes core) 0.070 0.099	(includes core) 0.087 0.118	(core insulator) 0.067 0.095
Ampacity (Amps) ^E 75°C 100°C 200°C	908 1123 --	1007 1242 1827	992 1221 1798	1025 1265 1863
Al Strength	200 MPa (80.5 kN)	58.6 MPa (27.8 kN)	139 MPa (55.9 kN)	58.6 MPa (30.3 kN)
Al CTE	19.4x10 ⁻⁶ /°C	19.6x10 ⁻⁶ /°C	16.3x10 ⁻⁶ /°C	19.6x10 ⁻⁶ /°C
Total Conductor				
Area	468.6 mm ²	565.4 mm ²	468.2 mm ²	588.1 mm ²
Void Space Full Area = 622.1 mm ²	24.7%	9.1%	25%	5.5%
Conductor Mass	1629 kg/km	1960 kg/km	1333 kg/km	1553 kg/km
Al/Core Content	68.5%/31.5%	68.5%/31.5%	83.4%/16.6%	94.5%/8.2%
Conductor Strength	140 kN	137 kN	138 kN	177 kN

^EAmpacity values based on 25°C ambient temperature, 0.51m/sec. wind, in sun, emissivity of 0.5, coefficient of solar absorption of 0.5, at sea level.



E. J. Bosze, A. Alawar, A. Lim, J. Randy, Y. R. Tsai and S. Nutt

Comparison of ACCC/TW with the ACCR, ACSS and ACSR Lines
 Report No: USC-CompComparison-Final, University of Southern California,
 M.C. Gill Foundation: Composites Center, June 15, 2006

■
 Usporedbe
 svojstva
 vodiča
 (Drake):

ACSR,
 ACSS/TW,
 ACCR i
 ACCC/TW

ACCC cable
Trapezoidal Concentric-Lay-Stranded Conductor

1020 kcmil / Drake
(517 mm²)

Governing Standard	ASTM or CSA	ASTM
Aluminum Cross-Sectional Area	1020 kcmil	(517.7 mm ²)
Calculated Cable OD	1.100 in	(28.15 mm)
Diameter of Composite in Core Strand	0.375 in	(9.53 mm)
Number of Strands in Core	1	
Number of Aluminum Wire Layers	2	
Number of Strands in 1st Layer	8	
Number of Strands in 2nd Layer	14	

Total Cross Sectional Area of Conductor	0.8178 m ²	(588.1 mm ²)
Annular Aluminum Area	1087.4 kcmil	
Fill Factor	93.8 %	
Design Area - Aluminum	1020.0 kcmil	
Actual Aluminum Area	1020.1 kcmil	
Number of Aluminum Strands	22	
Aluminum in 1st Layer	37.84 %	
Aluminum in 2nd Layer	62.26 %	

Conductivity of outer aluminum (%IACS)	63.0 %
Conductivity of inner core (%IACS)	8 %
Frequency of Operation	60 Hz

Composite Core

ASTM B957 for overall conductor
ASTM B608 for 1360 O temper aluminum
CTC Composite Fiberglass/Carbon Fiber Core

Conductor Design:

Diameter of CTC Composite Core	3750 in	(9.53 mm)
1st Layer - number of wires = 8		
Eqv. Round Wire Dia	2191 in	(5.58 mm)
Diameter Over Layer	7416 in	(18.84 mm)
2nd Layer - number of wires = 14		
Eqv. Round Wire Dia	2132 in	(5.41 mm)
Diameter Over Layer	11082 in	(28.15 mm)

Area per strand	46 kcmil
Height "t"	0.1833 in
Area per strand	45.44 kcmil
Height "t"	0.1833 in



Mechanical Properties:

	Aluminum (1360)	Composite Core	Total
Conductor Mass	857 lb/ft	1425 kg/km	1046 lb/ft
Conductor Area	0.8012 in ²	516.9 mm ²	0.8178 m ²
Rated Strength	8540 lb	20.1 kN	41100 lb*
Modulus	10 Msi	88 Gpa	11.2 Msi
Thermal Expansion (CTE)	12.8 x 10 ⁻⁶ /°F	23 x 10 ⁻⁶ /°C	1.81 x 10 ⁻⁵ /°C
Thermal Heat Capacity	230.4 W s/ft per °F	414.7 J/m per °C	
Tensile Strength Basis	8500 psi		
Strength Derating Factor	0.95		

*value rounded to nearest 1000 unit

Electrical Properties: @60 Hz (For detailed ampacity information, see second page)

Temperature	DC Resistance	AC Resistance	AC Resistance	AC Resistance
20 C	0.016486 ohm/kft (0.054091 ohm/km)	0.01607 ohm/kft	0.0081 ohm/km	0.0553 ohm/km
25 C	0.016529 ohm/kft	0.01720 ohm/kft	0.0080 ohm/km	0.0554 ohm/km
50 C	0.016544 ohm/kft	0.01889 ohm/kft	0.0087 ohm/km	0.0620 ohm/km
75 C	0.020258 ohm/kft	0.02057 ohm/kft	0.0086 ohm/km	0.0675 ohm/km
100 C	0.021973 ohm/kft	0.02226 ohm/kft	0.0175 ohm/km	0.0730 ohm/km
125 C	0.023687 ohm/kft	0.02395 ohm/kft	0.0265 ohm/km	0.0786 ohm/km
150 C	0.025402 ohm/kft	0.02563 ohm/kft	0.0354 ohm/km	0.0842 ohm/km
175 C	0.027116 ohm/kft	0.02732 ohm/kft	0.0444 ohm/km	0.0897 ohm/km
200 C	0.028831 ohm/kft	0.02903 ohm/kft	0.0534 ohm/km	0.0953 ohm/km
GMR		0.0371 feet		1.13 cm
Inductive Reactance @ 1ft radius (0.3048m)		0.0757 ohm/kft@60 Hz	0.3987 ohm/km@60 Hz	0.2494 ohm/km@60 Hz
Capacitive Reactance @ 1ft radius (0.3048m)		0.4817 megohm-kft@60 Hz	0.0912 megohm-km	0.1488 megohm-km@60 Hz

Aluminum Stranding Factor = 1.0215

AMPACITY TABLE

CONDUCTOR: DRAKE (DUBLIN)		DQ ALUM STRAND DIA	- .2153 IN
SIZE	- 1020.0 KCMIL	CORE STRAND DIA	- .3749 IN
STRANDING	- 22 / 1	OUTSIDE DIAMETER	- 1.100 IN
IMPEDIVITY	- .98	ALUM CONDUCTIVITY	- 63.0% IACS
		CORE CONDUCTIVITY	- .0% IACS

OPERATING CONDITIONS : AMBIENT TEMPERATURE - 25. DEG C
CROSSWIND VELOCITY - 2.00 FT/SEC

OPERATING TEMP	R-DC (OHMS/1000 FT)	R-AC (OHMS/1000 FT)	AMPACITY WITHOUT SUN WIND	AMPACITY WITH SUN WIND			
C-DEG-F	1000 FT	1000 FT	WIND	WIND			
20.	80.	016486	016067	0.	0.	0.	0.
25.	77.	016879	017202	0.	0.	0.	0.
40.	104.	017858	018210	845.	846.	0.	830.
50.	122.	018544	018883	593.	621.	342.	643.
60.	140.	019229	019557	715.	959.	533.	833.
70.	158.	019915	020232	829.	1074.	674.	947.
75.	167.	020258	020570	868.	1125.	734.	1025.
80.	176.	020601	020907	915.	1174.	790.	1090.
90.	194.	021287	021584	1000.	1262.	892.	1177.
100.	212.	021973	022260	1079.	1342.	983.	1265.
110.	230.	022659	022938	1153.	1414.	1066.	1344.
120.	248.	023344	023615	1223.	1481.	1148.	1417.
125.	257.	023687	023954	1255.	1513.	1176.	1450.
130.	266.	024030	024293	1286.	1544.	1215.	1484.
140.	294.	024716	024972	1350.	1603.	1282.	1546.
150.	302.	025402	025651	1409.	1659.	1347.	1606.
160.	320.	026088	026330	1464.	1711.	1408.	1661.
170.	338.	026773	027010	1522.	1761.	1467.	1714.
175.	347.	027116	027350	1549.	1797.	1495.	1741.
180.	356.	027459	027690	1575.	1811.	1522.	1766.
190.	374.	028145	028370	1627.	1858.	1578.	1815.
200.	392.	028831	029051	1677.	1903.	1631.	1863.

SUN CONDITIONS : AZIMUTH OF LINE - 270. DEG ALTITUDE OF SUN - 83. DEG
AZIMUTH OF SUN - 180. DEG SOLAR ABSORBTION - .5
TOTAL SOLAR AND SKY RADIATED HEAT - 96.0 WATTS/SQ FT

ALTITUDE : 0. FT ABOVE SEA LEVEL
FREQUENCY OF OPERATION = 60.0 HERTZ

The information contained herein is offered in good faith and believed to be accurate. However, although the information is substantially correct, some dimensional tolerances in actual cable construction may result in differences between the indicated values and actual dimensions. CTC Cable's sole warranty is that the product will meet the specifications listed at the time of shipment within acceptable temperature and humidity conditions. This warranty does not extend to products used for purposes other than those intended. CTC Cable disclaims liability for any incidental or consequential damages. CTC Cable reserves the right to make design changes to its products, or to discontinue any product or service without notice to its customers. To obtain the latest version of revised information, kindly contact your sales representative. Being used again is denied. Copyright © 2004 CTC Cable Corporation. All rights reserved.



INNOVATIVE SOLUTIONS FOR THE POWER INDUSTRY
www.compositescorp.com

ACCC cable conductor stranded by



F-730-010

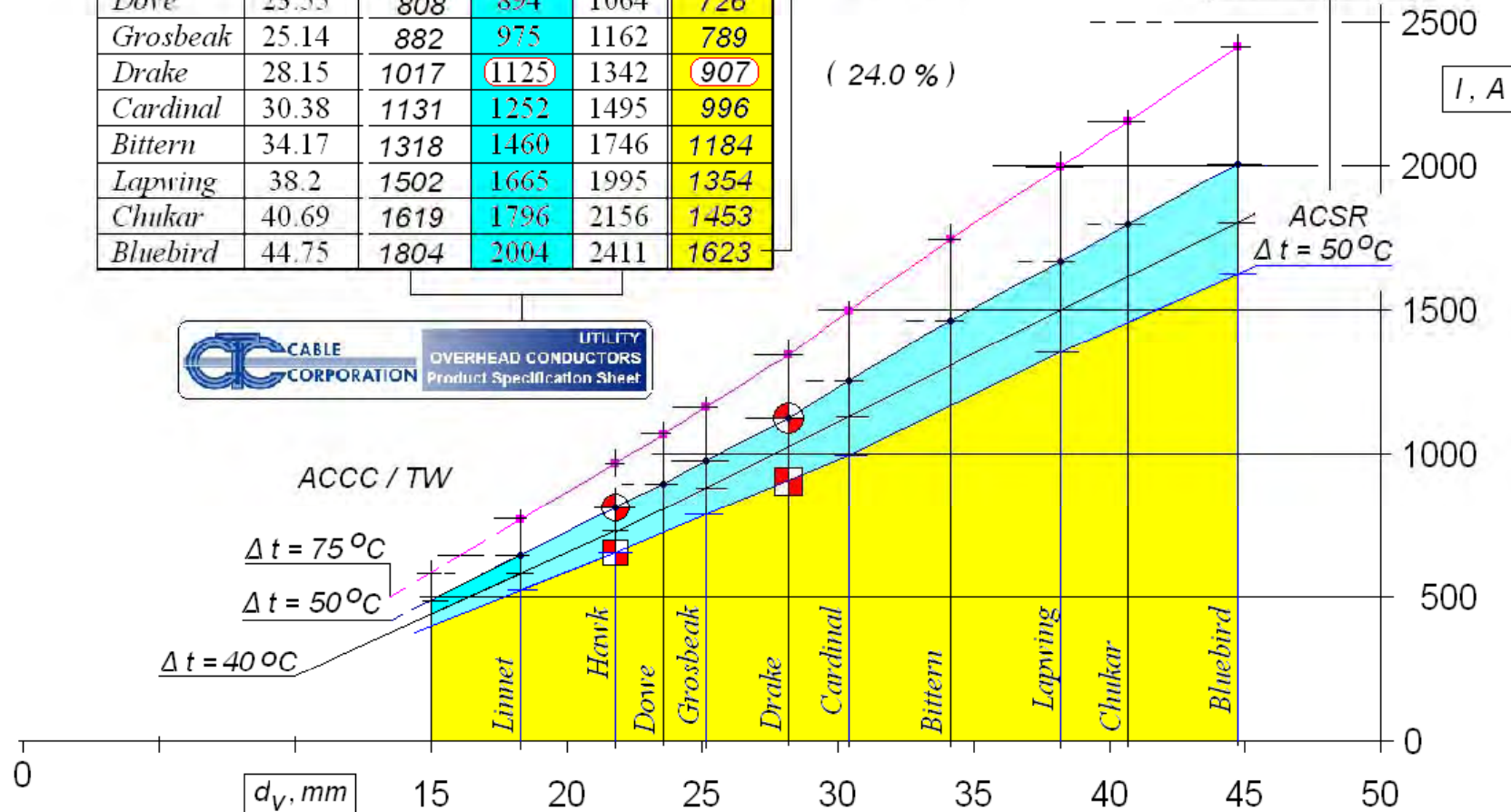
F-730-010

■ ... tipičan izgled specifikacija proizvođača za ACCC/TW vodiče, s tablicom opteretivosti " I = I (sunce, vjetar) " .

ACCC / TW	d_V, mm	Current Ratings, Amps			
		$\Delta t = t_c - t_{amb}$			
		40°C	50°C	75°C	ACSR 50°C
Linnet	18.29	586	647	769	529
Hawk	21.78	732	810	964	659
Dove	23.55	808	894	1064	726
Grosbeak	25.14	882	975	1162	789
Drake	28.15	1017	1125	1342	907
Cardinal	30.38	1131	1252	1495	996
Bittern	34.17	1318	1460	1746	1184
Lapwing	38.2	1502	1665	1995	1354
Chukar	40.69	1619	1796	2156	1453
Bluebird	44.75	1804	2004	2411	1623

ASTM Current ratings based on
75 °C conductor temperature,
25 °C ambient, 2 ft/s wind,
96 watts/sq. foot sun,
0.5 coeffs of emissivity and absorption.

wind 0.61 m/s
sun 1033 W/m²



- Usporedba strujne opteretivosti ACSR i ACCC/TW vodiča istih promjera...

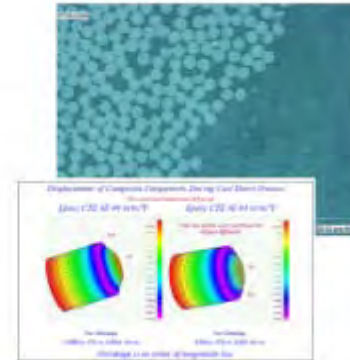
- Simulacije eksploatacijskog vijeka ACCC/TW vodiča softverom GENOA (Nasa, Boeing, Air-Bus)!

Composite Advantages

Dave Bryant dbryant@compositetechcorp.com

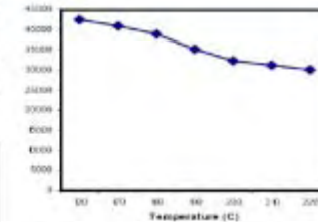
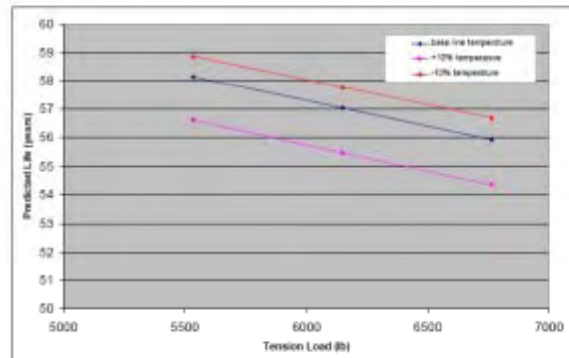
While there are many different requirements specific to every application, the benefits of a well designed composite typically include:

- High strength to weight ratio
- Low coefficient of thermal expansion
- Impact resistance – energy absorbing
- Non-corrosive
- Excellent durability and longevity
- High tensile and flexural strength
- High temperature performance
- Resistance to cyclic load degradation



Longevity Modeling

The longevity of ACCC wire was predicted under various loading and service conditions using GENOA life prediction software. Temperature, initial tension and combination of the two effects have been studied on longevity of the wire. GENOA Simulations show that the reasonable service time of the cable is around 50 to 60 years. Increasing temperature or initial tensile load will reduce the longevity of the Drake cable. Probabilistic analysis will help the designers to determine the sensitivity of initial tensile load and service temperature to the wire's life, and predict the cumulative distribution function of the Drake cable longevity.



1. Initial tensile load: 6150 lb. (15% of rated load: 41000lbs)
2. 5% of the cable service time exposure to 0°C.
3. 10% of the cable service time exposure to 180°C.
4. 85% of the cable service time exposure to 120°C.

Parameter	Value	Unit	Effect on Life
Initial Tension	6150	lb	Decrease
Initial Temperature	0	°C	Increase
Final Temperature	120	°C	Decrease
Final Tension	6150	lb	Decrease

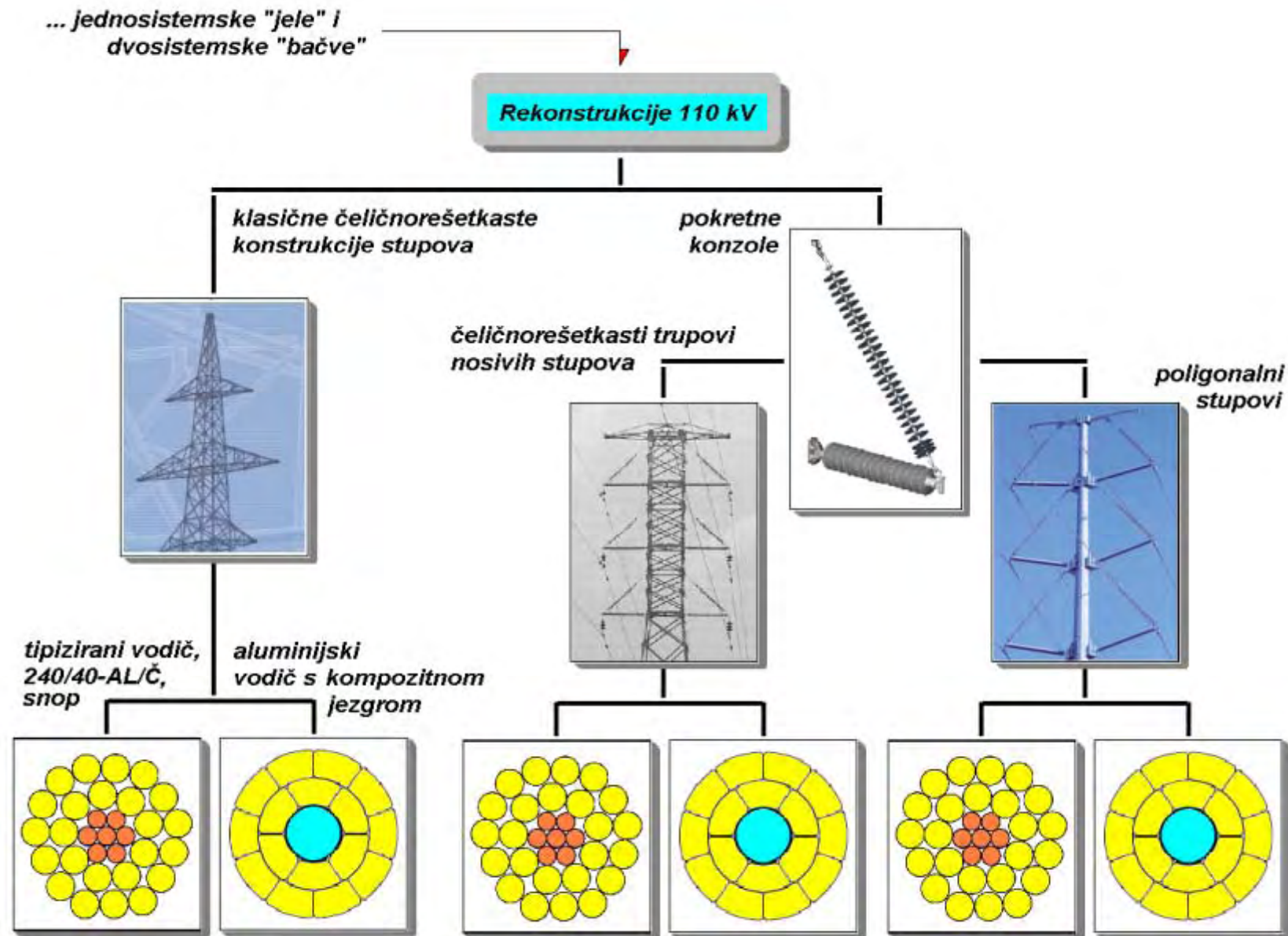
Parameter	Value	Unit	Effect on Life
Initial Tension	6150	lb	Increase
Initial Temperature	0	°C	Increase
Final Temperature	120	°C	Decrease
Final Tension	6150	lb	Decrease

Table 3. Combination of Temperature and Initial Tension effects on Cable Longevity

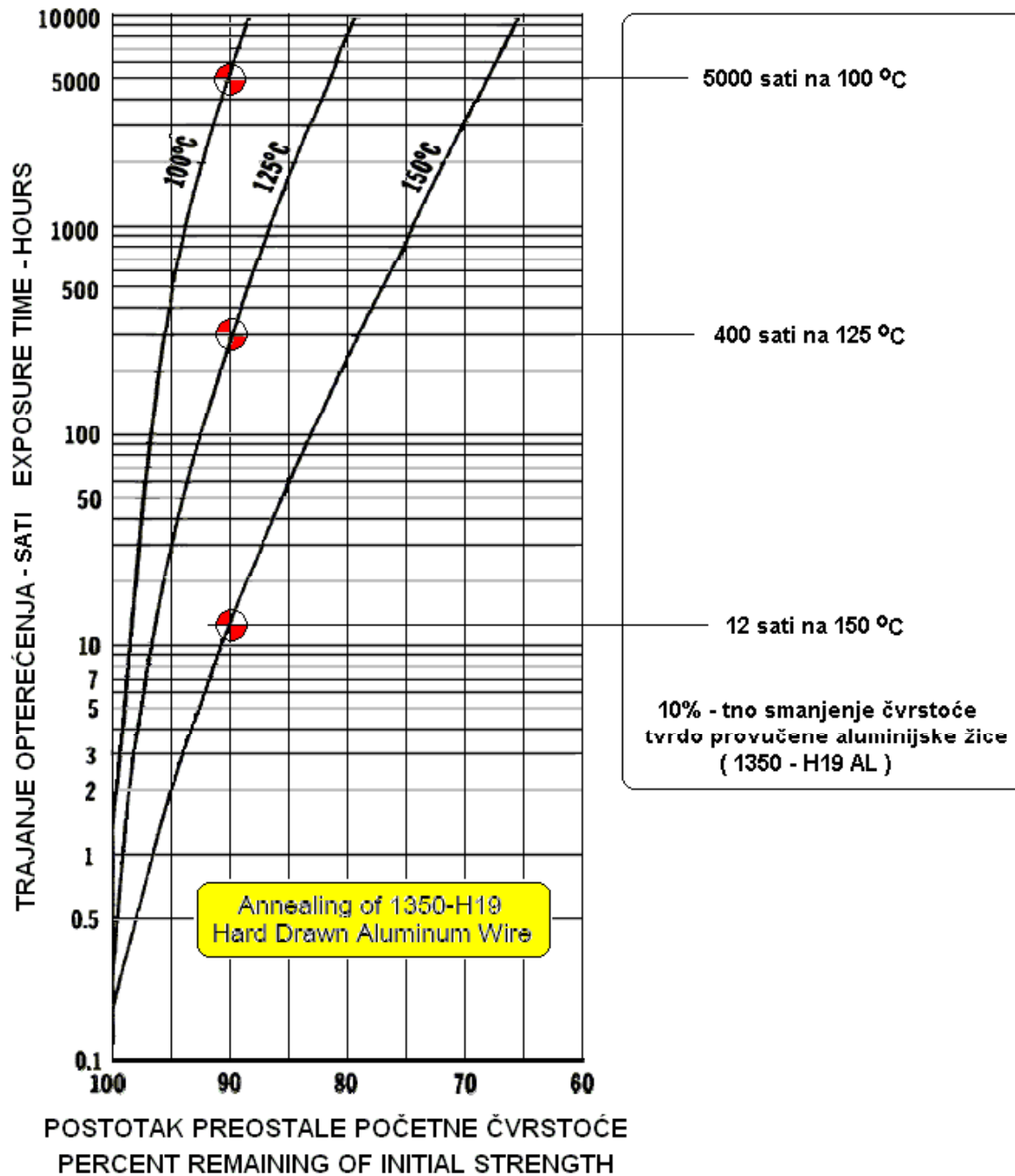
Parameter	Value	Unit	Effect on Life
Initial Tension	6150	lb	Increase
Initial Temperature	0	°C	Increase
Final Temperature	120	°C	Decrease
Final Tension	6150	lb	Decrease

The fatigue lives on different load conditions are predicted with GENOA. The weight of the cable is considered as consistent load. The wind and ice loads are considered as load variation. The wind gust period are assumed to the cyclic loading period (3 seconds). So the frequency of the cyclic load will be (1/3 HZ).

- Predviđena trajnost cca 50...60 god
- rad na 125 °C kroz 85 % vremena pogona,
- 5 % na 0 °C i
- 10 % na 180 °C.



... Varijante u rekonstrukcijama 110kV, uz mogućnost izbora povišene radne temperature za ACCC/TW (bez velikih povećanja gubitaka prijenosa snage)...
 (Aluminum Conductor Composite Core; Trapezoidal Wires)



■ ... temperatura klasičnih, čeličnoaluminijских vodiča

(ACSR,

Aluminum Conductor Steel Reinforced)

ograničena je s obzirom na svojstva aluminijских žica

= >

... smanjenje čvrstoće čitavog vodiča jer

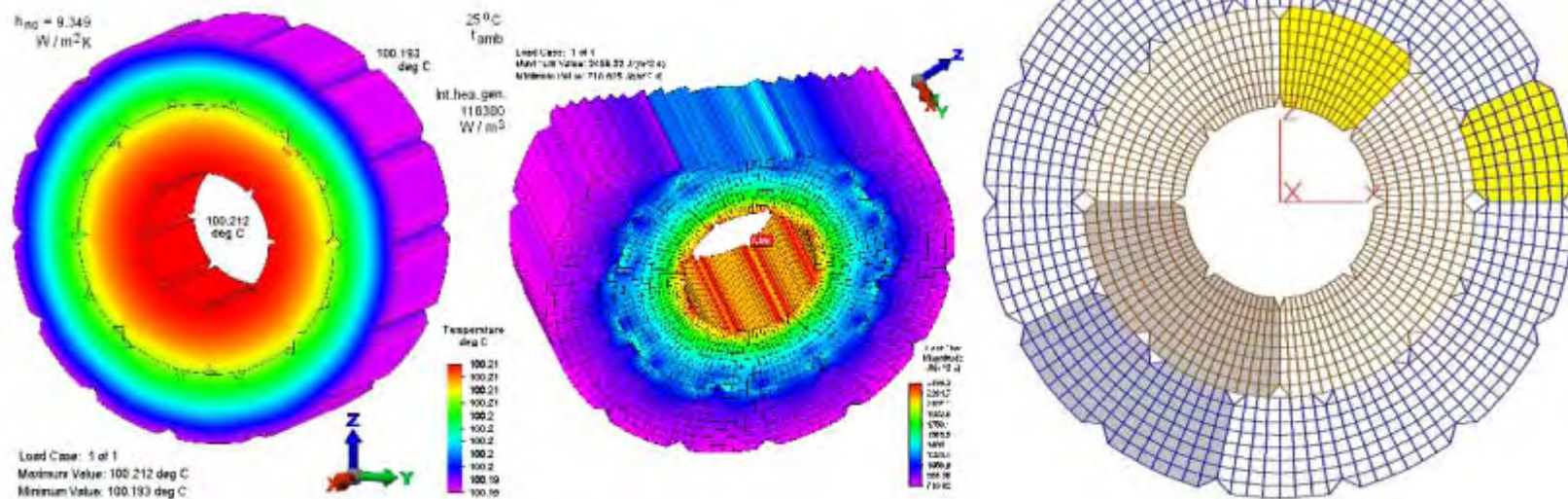
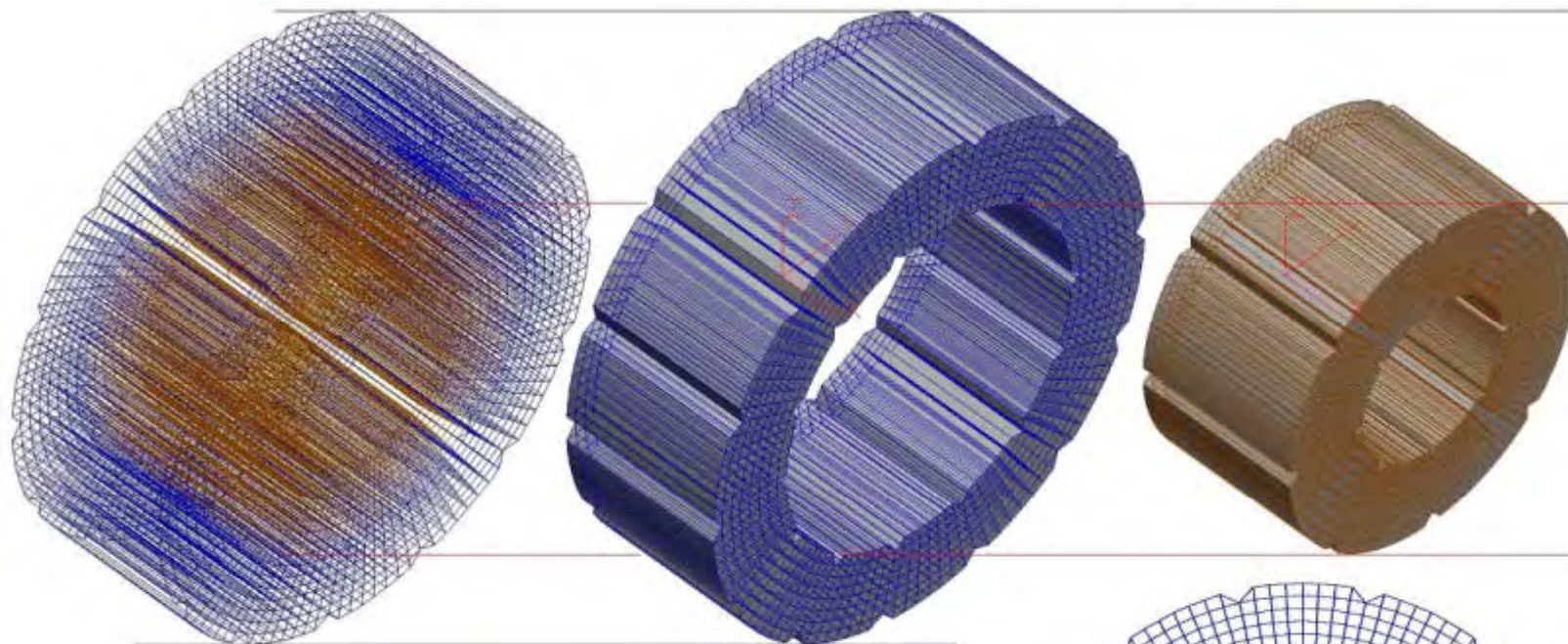
aluminij "ravnopravno"

(proporcionalno s odgovarajućim udjelom presjeka i modulom elastičnosti)

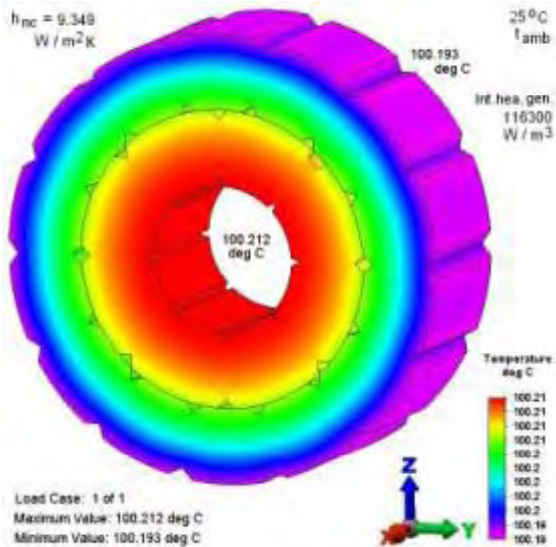
participira u nosivosti s

čeličnom jezgrom

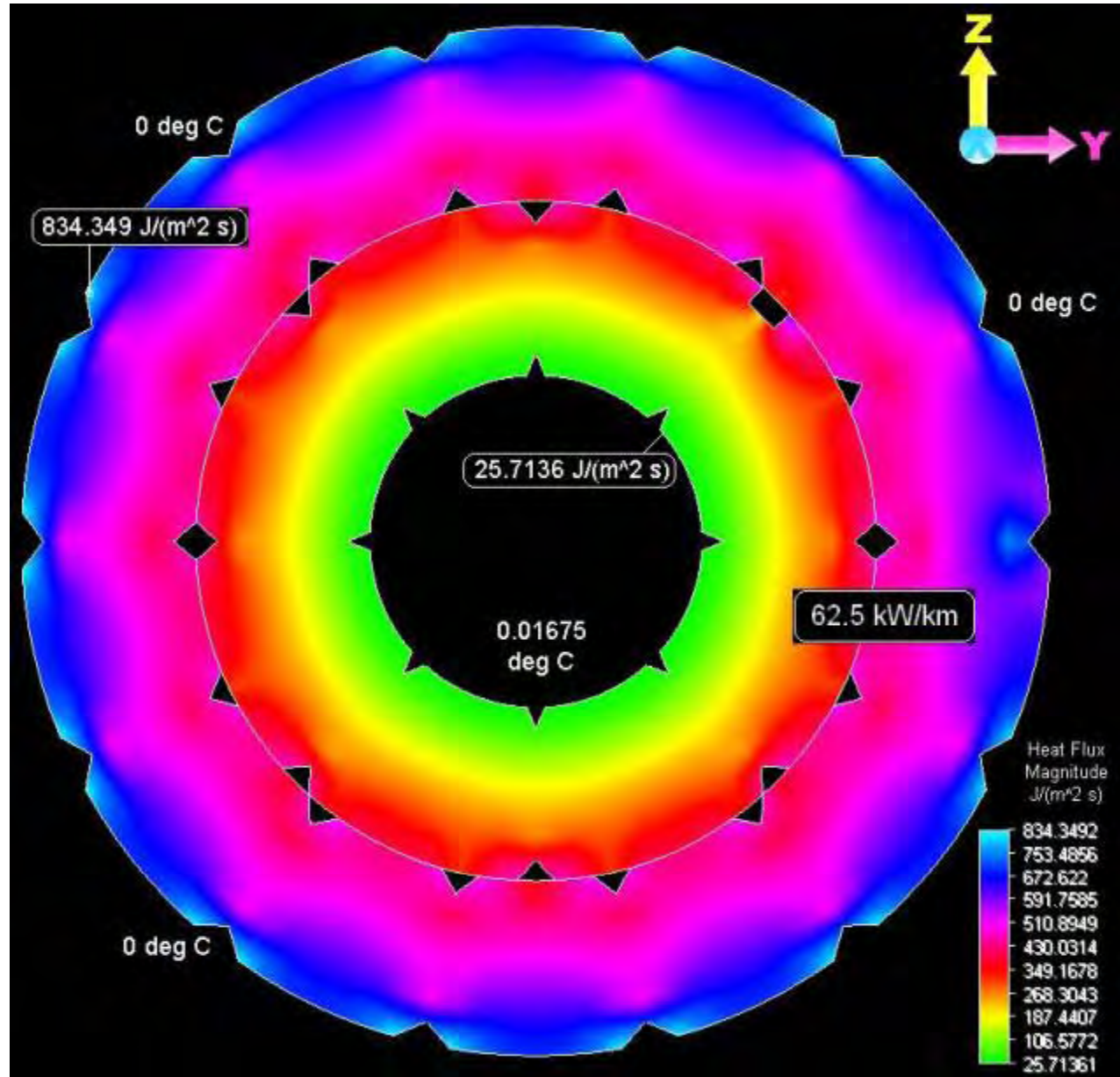
...



- Konceptualni proračuni zagrijavanja - Model konačnih elemenata ACCC/TW vodiča s kompozitnom jezgrom...



- vođenje topline – male temperaturne razlike za idealizirana prijanjanja slojeva trap. žica – realnije simulacije traže stvarne presjeke dodira, konvekcijske koef. prijelaza topline (FSI), ...



Odnos presjeka vodiča $A = \left(\frac{A_{ACCC}}{A_{ACSR}} \right) = \frac{349.4}{282.5} = 1.237$ (23.7% veći presjek ACCC^{TW} vodiča),

odnos uzdužno specifičnih težina vodiča (bez dodatnog tereta leda i s jediničnim teretom)

$$\Gamma = \left(\frac{\gamma_{ACCC}}{\gamma_{ACSR}} \right) = \frac{9.094}{9.682} = 0.9393$$

(6.07% manja težina ACCC^{TW} vodiča;

$$\Gamma_* = \left(\frac{\gamma_{ACCC}}{\gamma_{ACSR}} \right)_* = \frac{17.49}{18.11} = 0.9658$$

3.42% manja težina s jediničnim ledom),

$$A = 349.4 : 282.5 = 1.2368$$

$$\Gamma_* = 17.49 : 18.11 = 0.9658$$

odnos zateznih sila (uvjeta s ledom; horiz. komponenta) $X_* = \left(\frac{H_{ACCC}}{H_{ACSR}} \right)_* = \frac{H_{ACCC,*}}{H_{ACSR,*}}$,

odnos duljina raspona $\Lambda = \frac{L_{0,ACCC}}{L_{0,ACSR}}$,

odnos provjesa $\Phi_* = \left(\frac{f_{ACCC}}{f_{ACSR}} \right)_* = \frac{f_{ACCC,*}}{f_{ACSR,*}}$,

odnos naprezanja presjeka vodiča (horizontalna komponenta) $\Sigma_* = \left(\frac{\sigma_{ACCC}}{\sigma_{ACSR}} \right)_* = \frac{\sigma_{ACCC,*}}{\sigma_{ACSR,*}}$.

ACCC/TW *Havrk* kao (hipotetički) zamjenski vodič tipiziranog užeta (HRN N.C1.351-240/40-AL/Č) u klasičnim zateznim poljima (bez pokretnih konzola) s "jediničnim" uvjetima leda

$$X_* \Phi_* = \Gamma_* \Lambda^2 = \Phi_* A \Sigma_*$$

$$X_* \Phi_* = 0.96576 \Lambda^2 = 1.2368 \Phi_* \Sigma_*$$

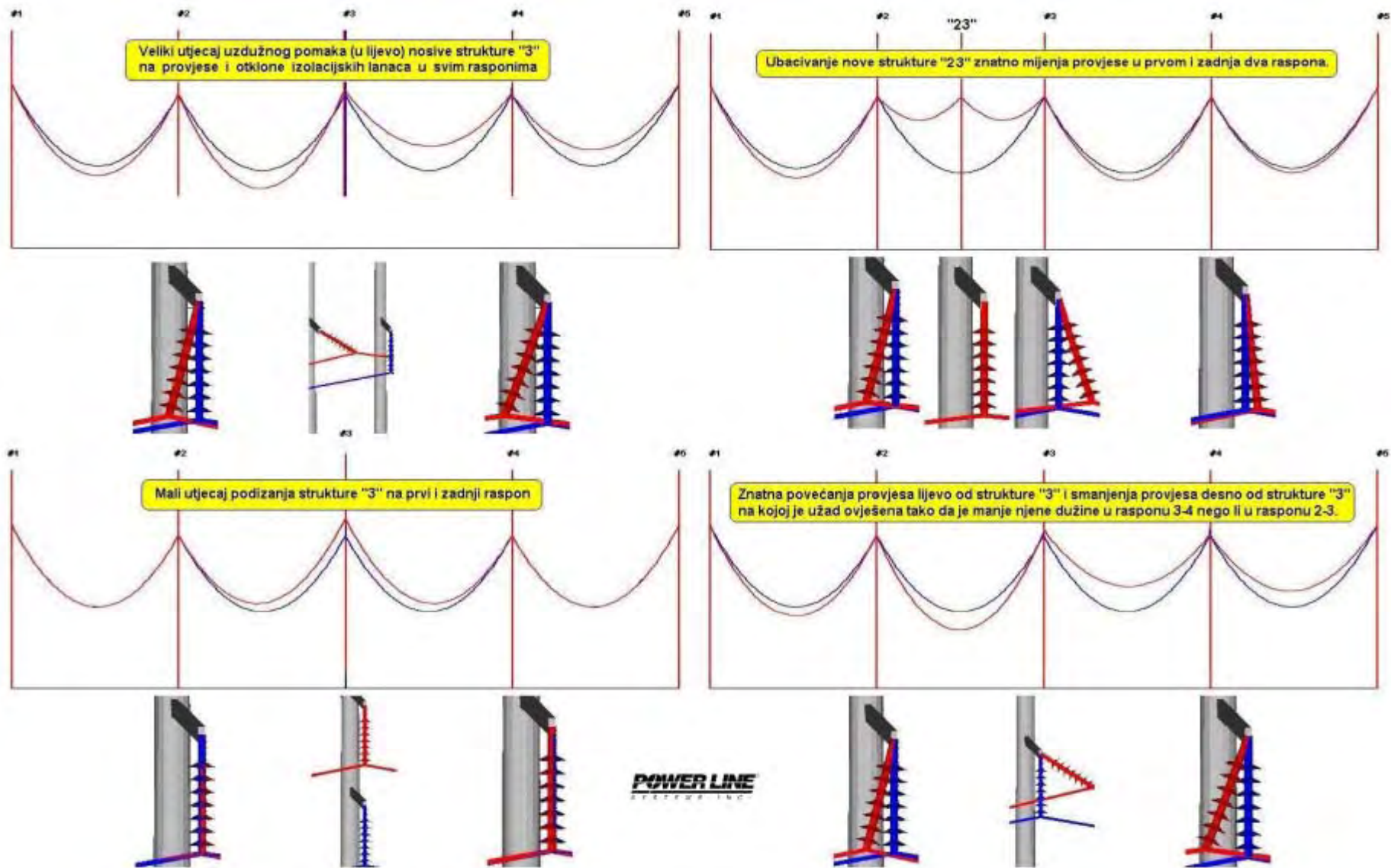
- s jednakim zateznim silama ($H_{ACCC,*} = H_{ACSR,*}$) i 19.1% manjim naprezanjima, ACCC vodič
- u jednakim rasponima ima 3.42% manje provjese, ili
- za jednake provjese ima 1.76% veće (prosječne) duljine raspona;

- s jednakim naprezanjima i 23.7% većim zateznim silama, ACCC vodič
- u jednakim rasponima ima 21.9% manji provjes, ili
- za jednake provjese ima 13.2% veće duljine raspona;

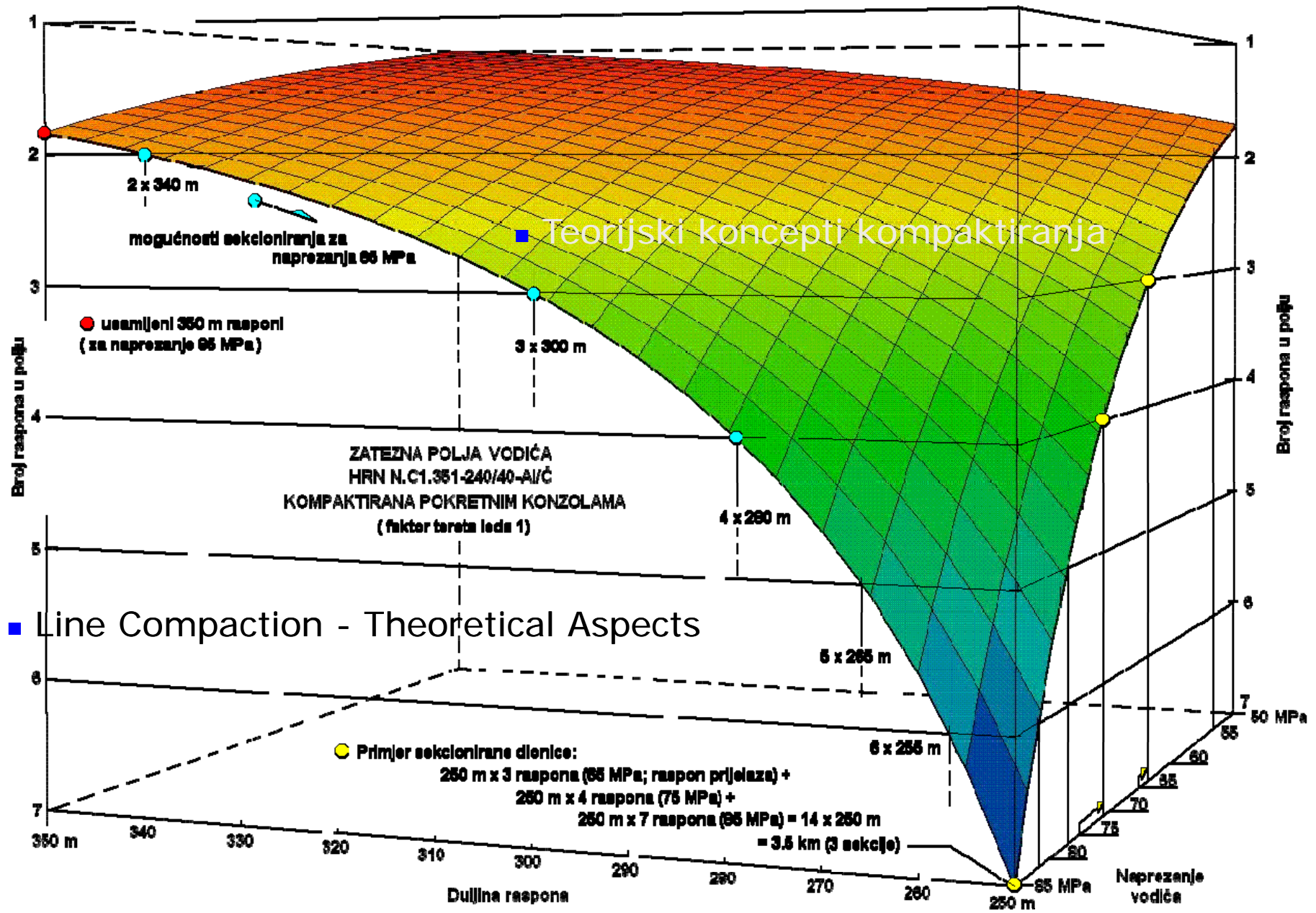
■ ACCC/TW, kao moguća zamjena čeličnoaluminijских vodiča u klasičnim rješenjima dalekovoda. Pojačanja stupova & rel. manja trajnost (brža akumulacija ciklusa eolskih vibracija).

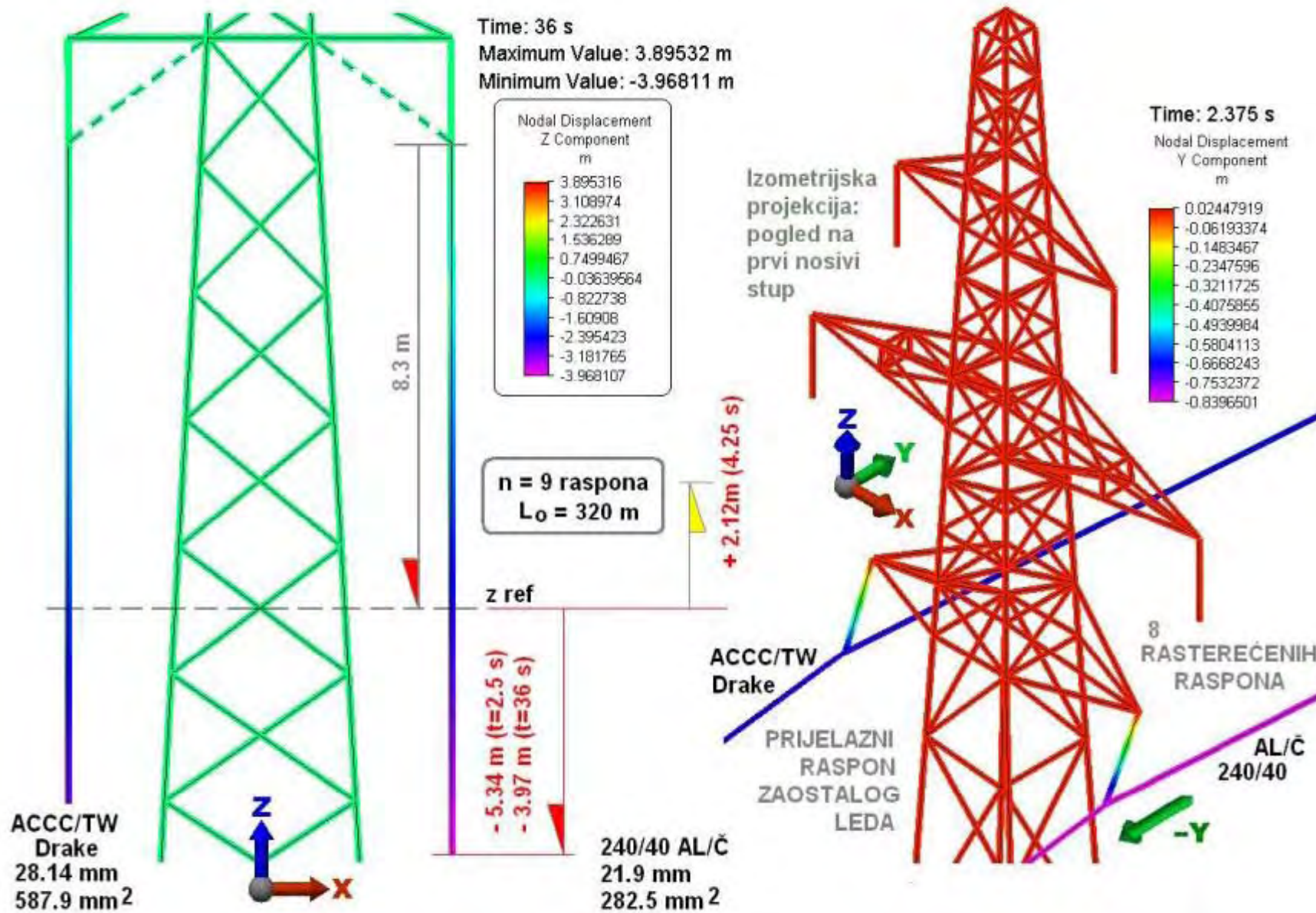
Kompaktiranje s pokretnim konzolama i suvremenim vodičima

- elementarna teorija translacijskih konzola
- kvantifikacija mogućnosti i ograničenja kompaktiranja

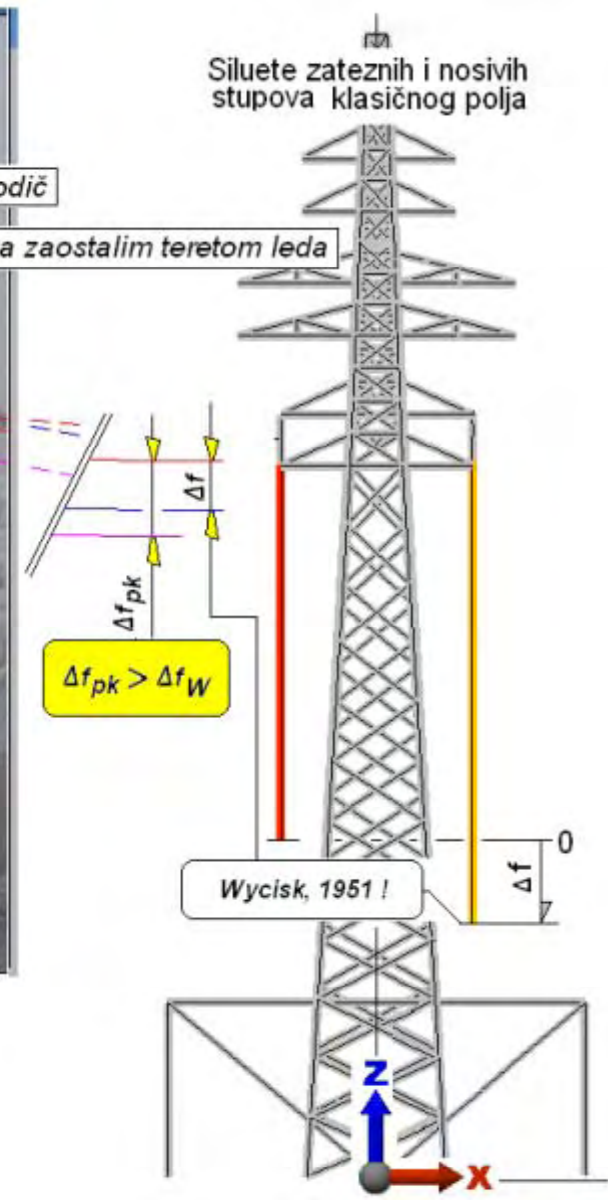
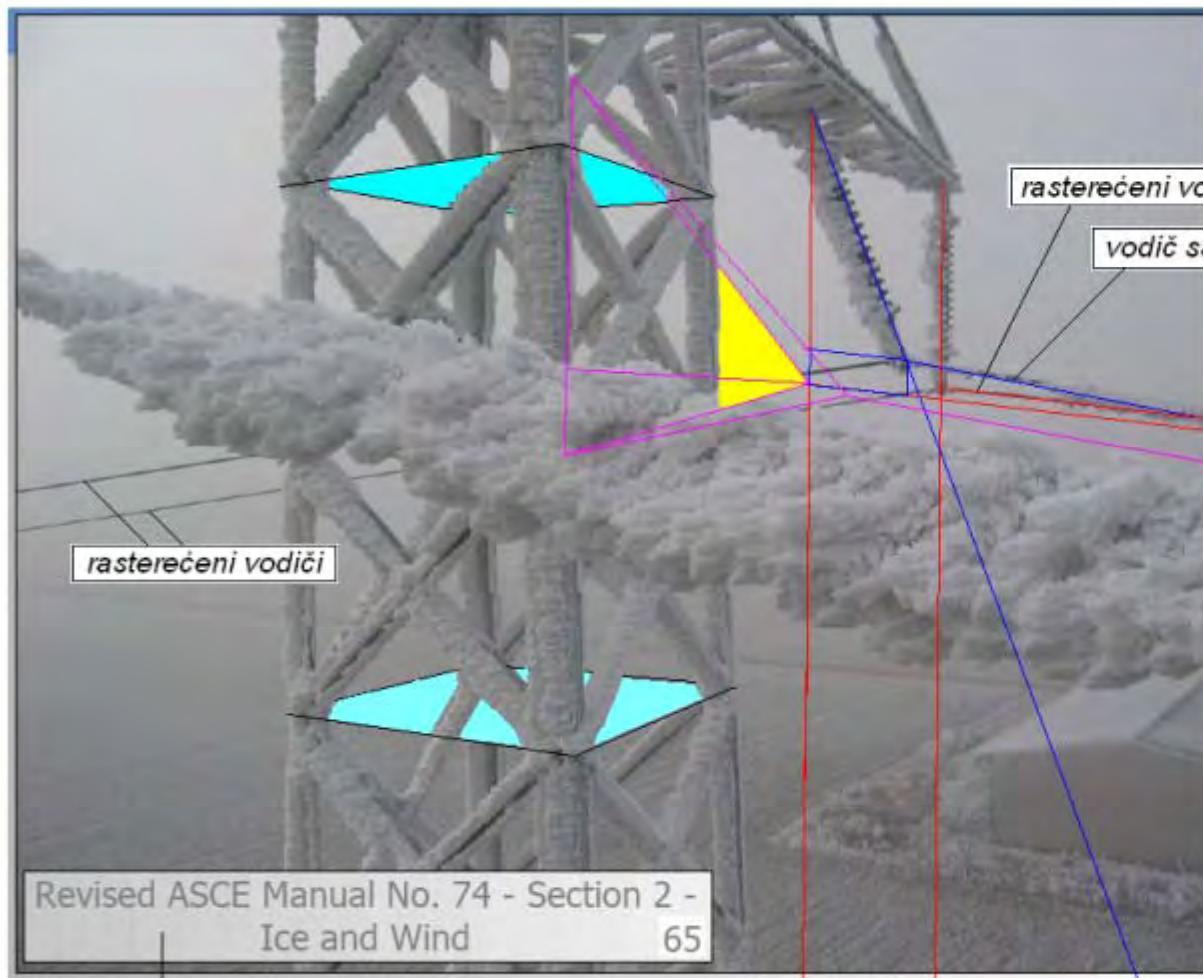


■ ... "Research and Development in Power Line System Inc.",
 (vodećoj softverskoj kući projektiranja nedzemnih vodova u USA).





- ACCC/TW *Drake* i tipizirani vodič 240/40 u klasičnom polju ("I") 9 x 320 m; ... uz provjere Wyciskovih predviđanja povećanja provjesa ...



F.W.Agnew, T.Burley, M.D.Miller, J.D.Mozer, M.Ostendorp, A.Peyrot, C.J.Wong:
 "Guidelines for Electrical Transmission Lines; Structural Loads",
 Revised ASCE Manual No. 74 - Section 2 - Ice and Wind, October 18, 2006.

■ ...u nedostatku domaćih ispitnih polja => "download friških" priručnika...

Kompaktiranja s pokretnim konzolama i suvremenim vodičima...

retrospektiva... od "*Male Kapele*" prema ravnicama...

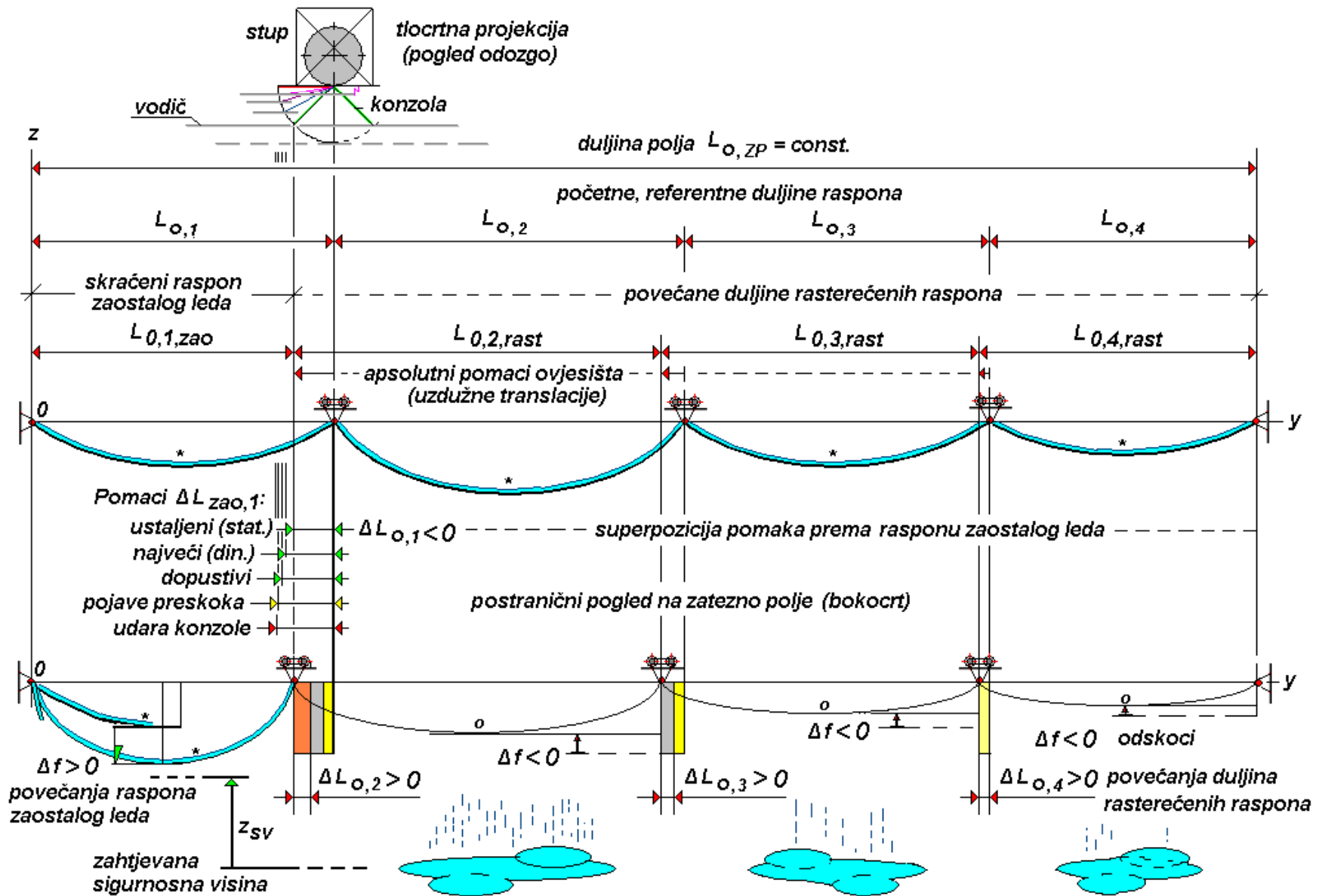
- početak: visina ovjesišta donje faze "*klasike*",
- povišenja ovjesišta zbog većeg provjesa (*Wycisk*),
- povećanja zategnutosti polja zbog smanjenja sigurnosnog razmaka, a pogotovo zbog udara konzole u stup

(tipična ograničenja $\sigma_{NDN} = 30$ /praksa ... 40/normativi $\% \sigma_{PR}$),

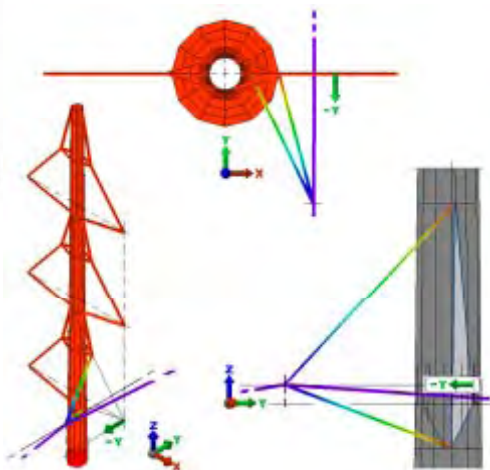
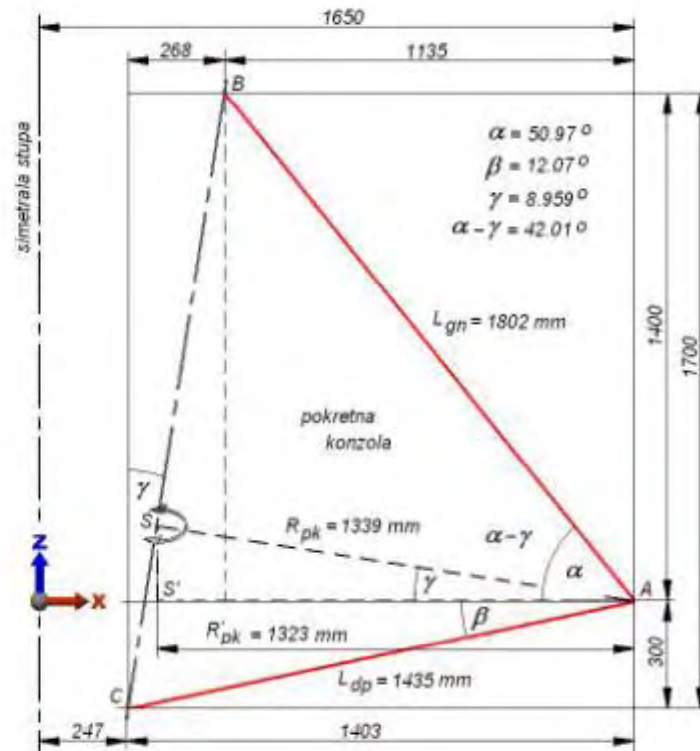
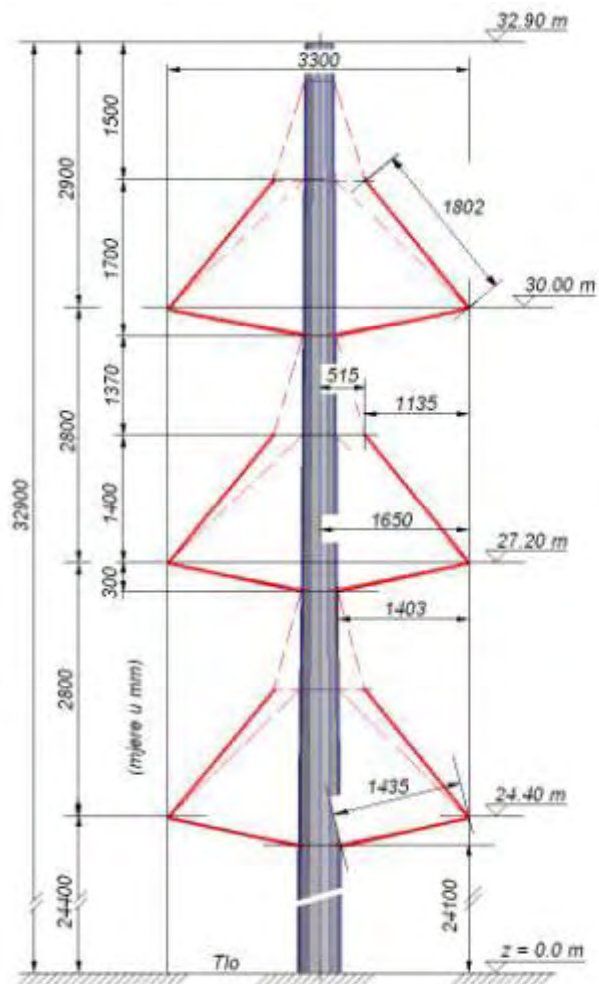
- sekcioniranja polja DV-a u dionice s manjim brojem raspona u istim duljinama (rekonst. nosivih u zatezne stupove, s preradama temelja na istim stupnim mjestima),
 - traženje kvalitetnijeg (lakšeg i izdržljivijeg) vodiča,
- ponavljanja istog algoritma s novim svojstvima vodiča...

Značaj razmatranja (posljedice) uzdužnih pomaka pomicnih ovjesišta:

- povećanja (odskoci) i smanjenja provjesa vodiča, međusobna približenja faznih vodiča, moguća preplitanja...
- povećanja provjesa i približenja tlu donjeg vodiča (dop. sigurnosna visina ~ 5...6 m),
- pojave preskoka pri smanjenju električnog razmaka s približenjem (snopova) užadi konstrukciji stupa,
- pojave udara pokretnih konzola o konstrukcije stupova (spriječiti dovoljnom zategnutošću).



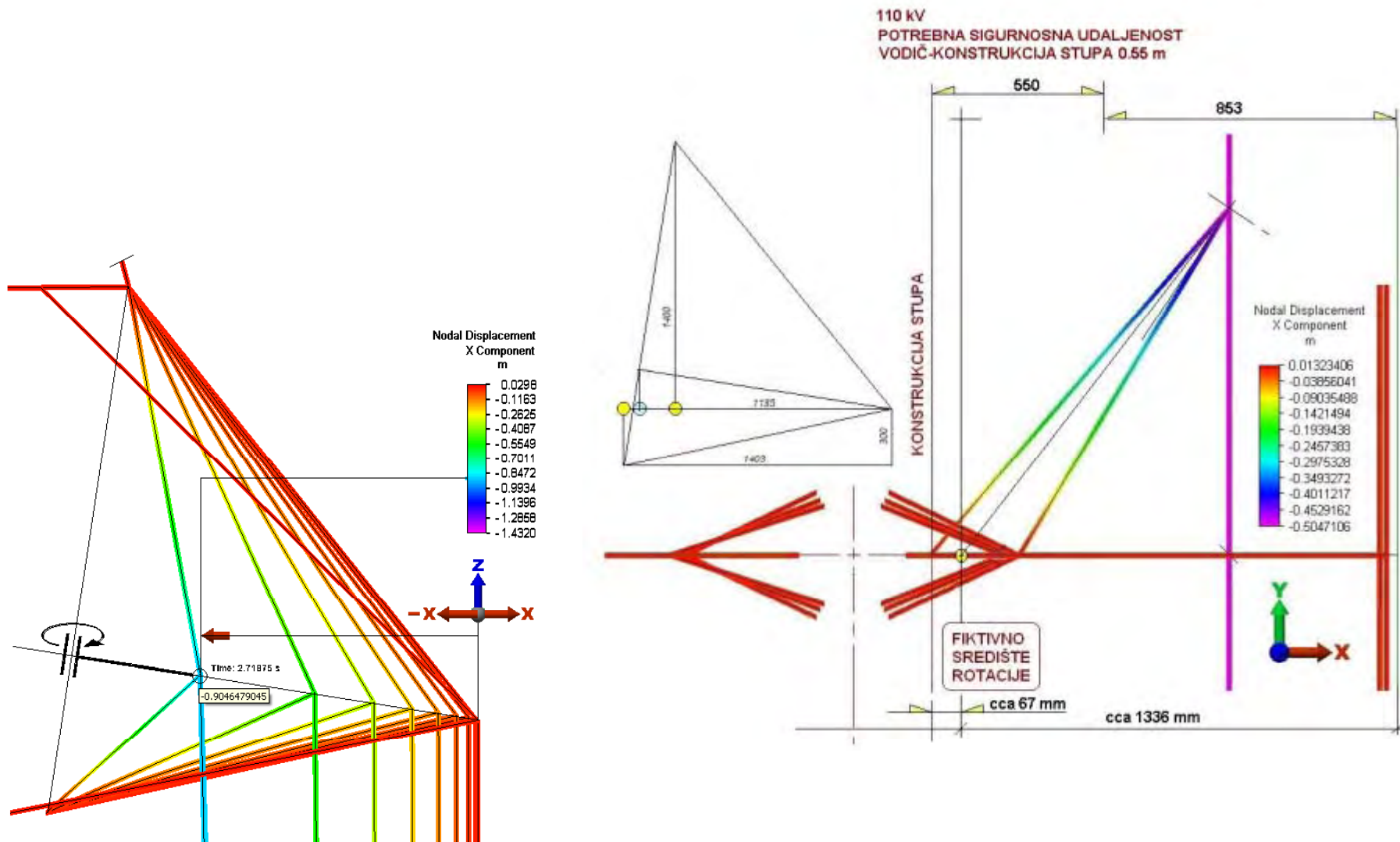
- Prevladavajući (dominirajući) učinci uzdužnih pomaka ...



- Model poligonalnog nosivog stupa s pokretnim konzolama (2x110 kV)
 - Osnovna geometrija pokretne konzole
 - duljine štapnih izolatora (gornji nosivi L_{gn} , donji potporni L_{dp}) i
 - karakteristični kutevi (α , β i γ),

od utjecaja na dinamička ponašanja ("asimetričnog" leda i bočnog vjetra),
i od značaja u dimenzioniranju presjeka štapova

(donji "po Euleru", DJ izvijanja iz 1744).



- Pokretna konzola u nacrtu (lijevo) i tlocrtu (desno) - pogledi sprijeda i odozgo (FE model).

- ELEMENTARNA TEORIJA ZATEZNIH POLJA
idealno savitljivih, nerastezljivih, plitkih paraboličkih
LANČANICA S NIVELIRANIM I UZDUŽNO POMIČNIM
(translacijskim) OVJESIŠTIMA

RAZVIJANI MODELI

- (ravničarski; ujednačene duljine raspona)
- elementarni (tangencijalna krutost raspona / tangente)
 - nelinearni (paraboličke lančanice)
 - nelinearni "s popravcima"
(Hookeova istežanja užadi, temperaturna produljenja),
 - iterativni
(Fortran/Pascal: polja neujednačenih raspona s usponima)
- konačnih elemenata (Algor) – za provjere teorije...
 - klasična i kompaktirana polja
- klasični čeličnoredni i alternativni poligonalni (čeličnocijevni) stupovi
 - naponske razine 110 kV i 400 kV
 - različiti vodiči (240/40; 360/57; ACCC Hawk/Drake/Bittern,...)
 - štapna izolacija: "I", "V", ">"
 - međufazni rastojnici: "I", "H", "8"...

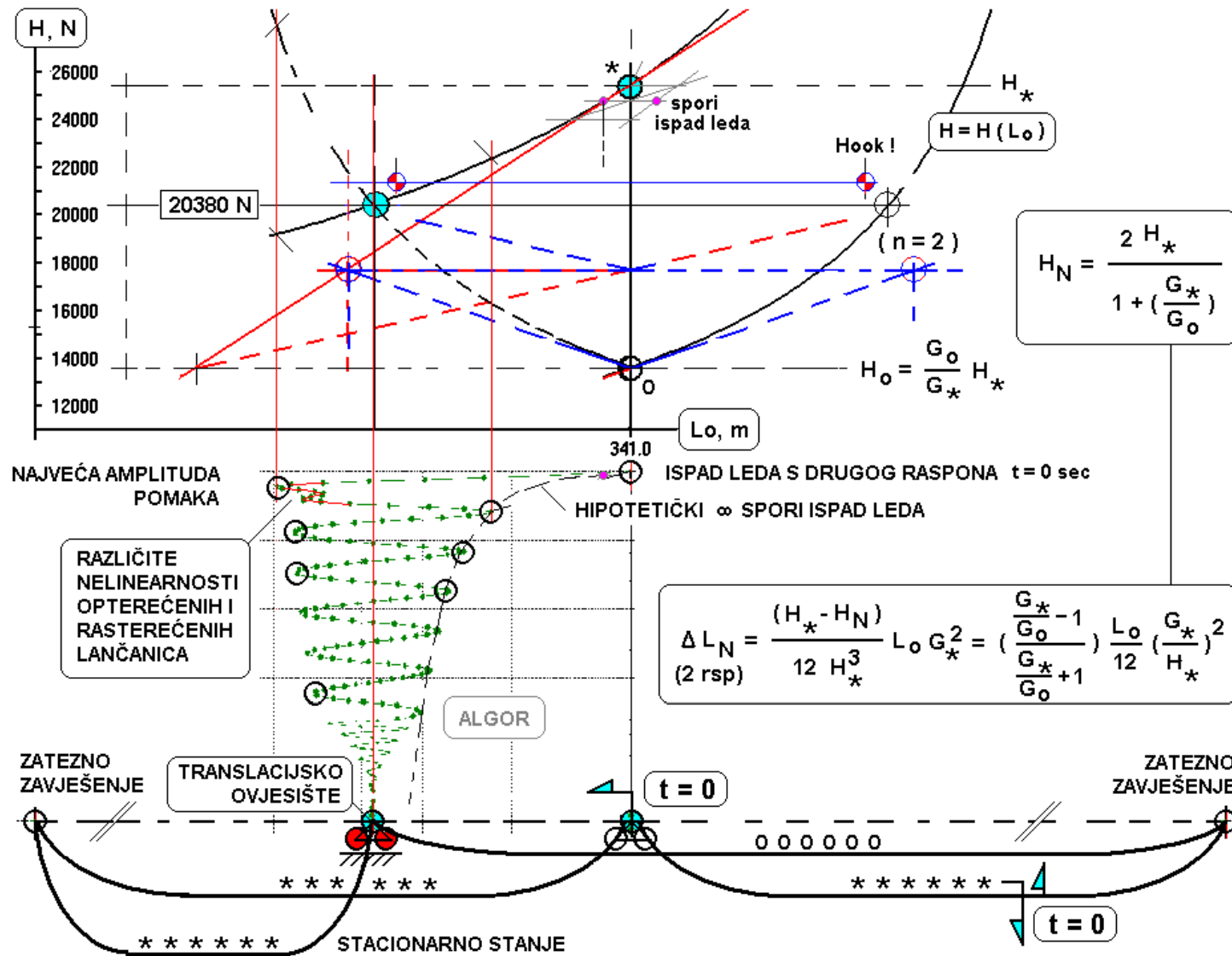
Osnovni gabariti i elektromehanička svojstva vodiča

Svojstva ▼	Oznaka vodiča ►	HRN N.C1.351-240/40-AL/Č	HRN N.C1.351-360/57-AL/Č	ACCC ^{TW} "Hawk"
Promjer kompletnog užeta, mm		21.90	26.60	21.78
Žice plašta: broj, promjer, ploština presjeka plašta		26 × Ø3.45 mm ≅ 243 mm ²	26 × Ø4.20 mm ≅ 360.2 mm ²	16 × Ø _{eq} 4.96 ≅ 309.5 mm ²
Žice jezgre: broj, promjer, ploština presjeka jezgre		7 × Ø2.68 mm ≅ 39.5 mm ²	19 × Ø1.96 mm ≅ 57.3 mm ²	1 × Ø7.11 mm ≅ 39.9 mm ²
Ploština presjeka (računska), mm ²		282.5	417.5	349.4
Uzdužna masa vodiča, kg/m		0.9870	1.444	0.927
Ekvivalentna gustoća vodiča, kg/m ³		3494	3459	2653
Uzdužna težina vodiča, N/m		9.682	14.17	9.094
Normirani dodatni teret leda, $\approx 56.92 \sqrt{\{d_v\}_m}$, N/m		8.423	9.283	8.400
Težina vodiča s teretom leda, N/m, za faktor dodatnog tereta:	1.0	18.11	23.45	17.49
	1.6	23.16	29.02	22.53
	2.5	30.74	37.38	30.09
	4.0	43.37	51.30	42.69
Prekidna vlačna sila, kN		86.40	127.5	103.0
Normalno dozv. naprezanje, MPa		110	110	106
Iznimno dozvoljeno naprezanje, MPa		210	210	203
Modul elastičnosti, GPa		77	76	57.2
Temp. koef. produljenja, 1/(°C)		18.9E-06	19.5E-06	19.6E-06*
Srednji djel. el. otpor na 20°C, Ω/km		0.1188	0.0801	0.09030

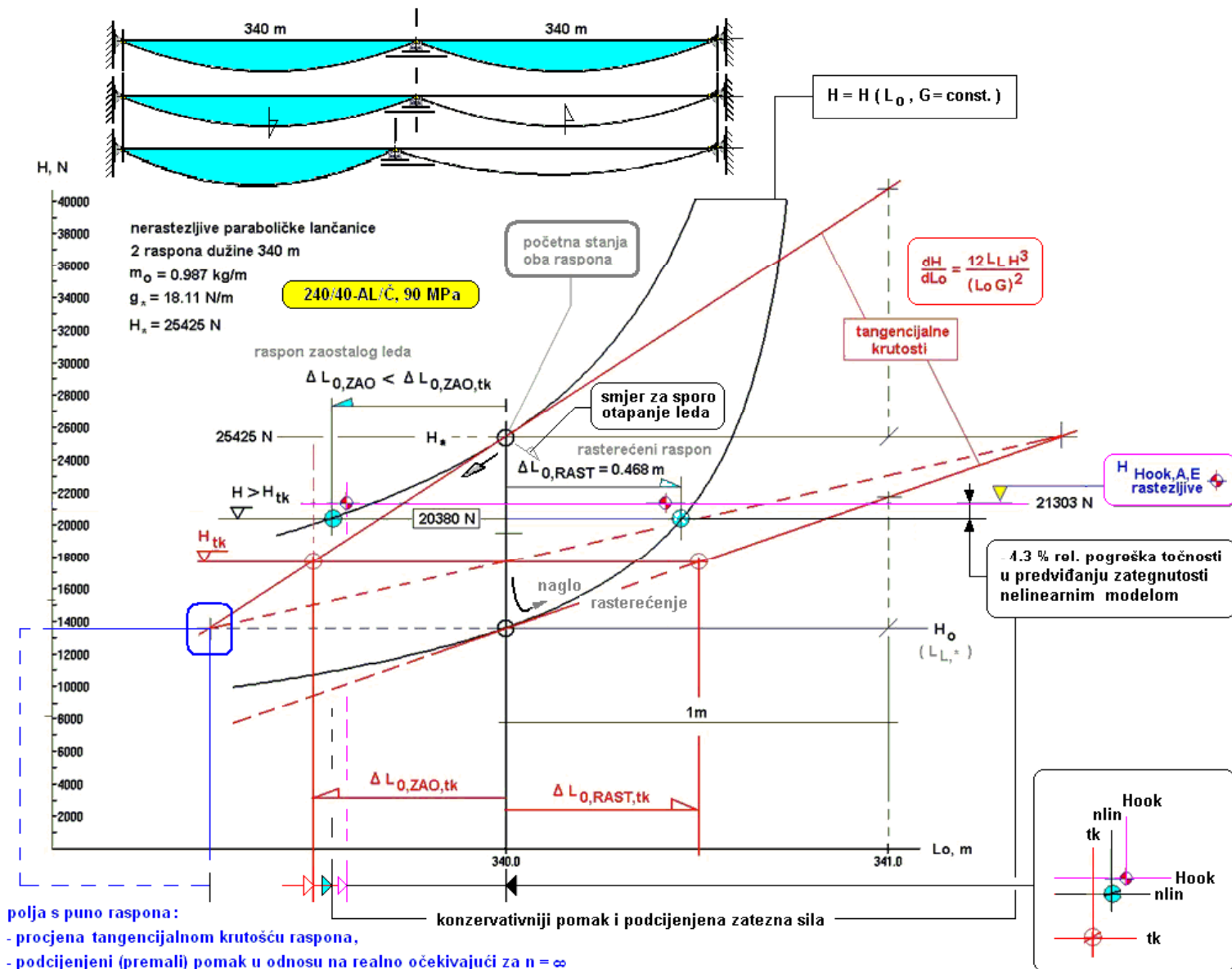
* U proračunima produljenja ACCC^{TW} vodiča koristi se temperaturni koeficijent produljenja jezgre $\alpha_j = 2.77E-06 \text{ } 1/^\circ\text{C} \ll \alpha_{\text{ACCC/TW}}$, jer ona preuzimlje većinu opterećenja.

ACCC/TW, *Aluminum Conductor, Composite Core - Trapezoidal Wires*.

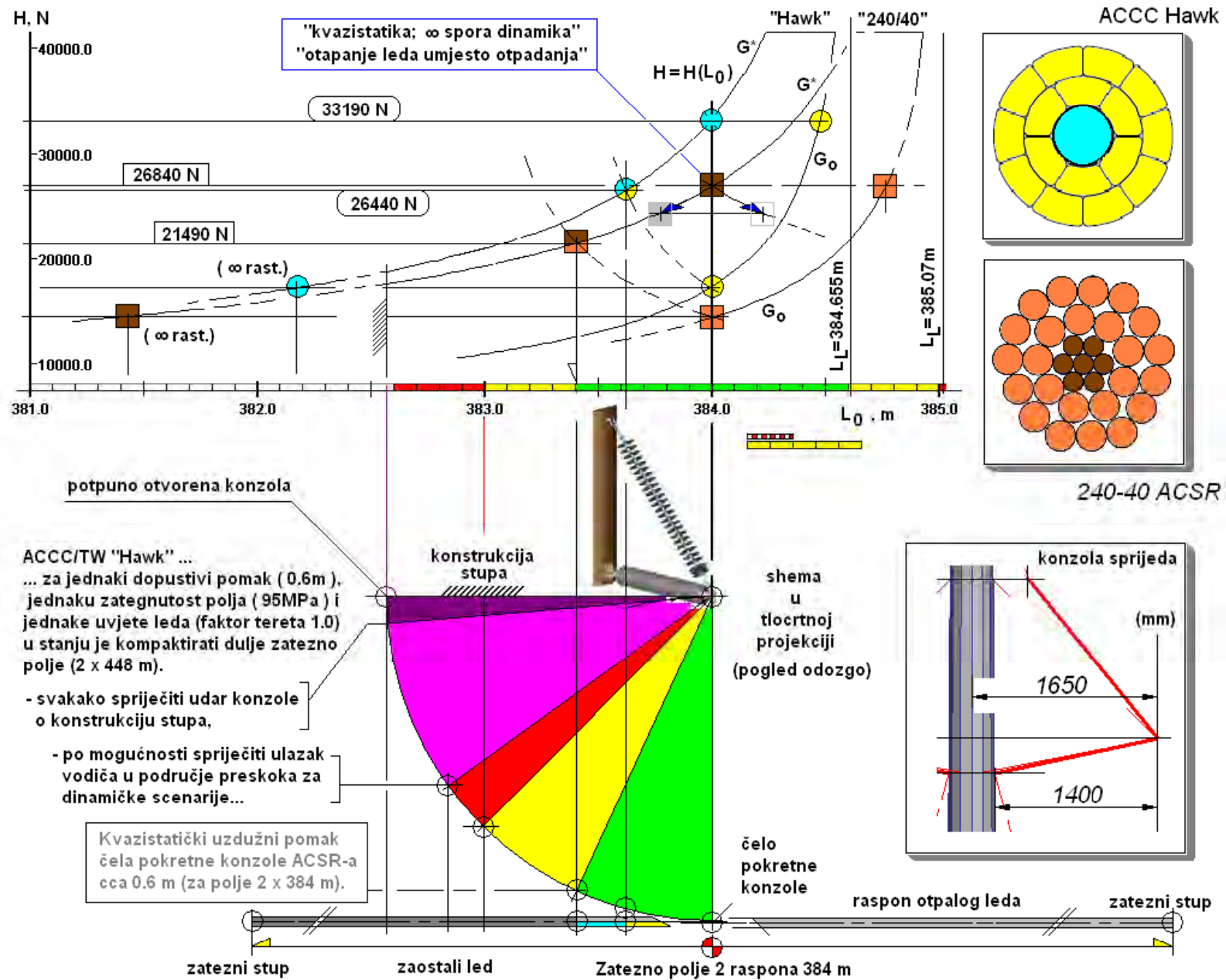
- ... Svojstva vodiča 240/40-AL/Č i ACCC/TW-Hawk



... statičke karakteristike; dinamičke i kvazistacionarne veličine ...



... jednostavnost i zadovoljavajuća točnost...



... uvod u elementarnu teoriju lančanica s transl. ovjesištima.

Zategnutost kompaktnih polja s pokretnim konzolama

U ravničarskim alternativnim zateznim poljima s idealiziranim mnoštvom ($n \rightarrow \infty$) referentnih raspona ujednačenih duljina ($L_{0,i} \approx \text{const.} = L_0, i=1, \dots, n$), sa zaostalim dodatnim teretom leda u prvom rasponu (smanjene duljine $L_0 - \Delta L_0$), s rasterećenim ($G_0 = G_v \approx L_0 g_v$) i tek neznatno produljenim preostalim rasponima ($L_{0,2 \dots n, \text{rast}} = \text{const.}, \Delta L_{0,2 \dots n, \text{rast}} \approx 0$), uspostavlja se horizontalna komponenta zatezne sile

$$H_v \equiv H_0 \approx \frac{g_0}{g_{v+dt}} H_{v+dt}, \quad (1)$$

pa iz uvjeta nerastezljivosti (duljine L_L) paraboličkih lančanica

$$L_L = L_0 \left(1 + \frac{G_{v+dt}^2}{24 H_{v+dt}^2} \right) = (L_0 - \Delta L_0) \left(1 + \frac{G_{v+dt}^2}{24 H_0^2} \right) \quad (2)$$

slijedi

$$H_{v+dt, n \rightarrow \infty} \approx \sqrt{\frac{L_0^3}{24 \Delta L_0} g_{v+dt}^2 \left[\left(\frac{g_{v+dt}}{g_0} \right)^2 - 1 \right]}. \quad (3)$$

Zategnutost alternativnog polja H_{v+dt} mora biti dovoljno velika da se spriječe otvaranja konzola pri kojima najmanje udaljenosti vodiča od konstrukcija stupova postaju manje od dopustivih sigurnosnih razmaka. Odnosi se to na dinamičke veličine pomaka i najnepovoljnije (ali i malo vjerovatne) uvjete trenutnih rasterećenja (otpadanja leda) u većem broju susjednih raspona. Odgovarajućom zategnutošću ograničuju se i amplitude lateralnih njihanja užadi, a koja nastaju zbog lateralnih otklona pomičnih ovjesišta.

Dopustivi ustaljeni uzdužni pomak pomičnog ovjesišta raspona zaostalog tereta leda

$$\Delta L_0 \equiv \Delta L_{0, \text{zao.}} \approx (n-1) \Delta L_{0, \text{rast.}}, \quad (4)$$

preliminarno je procijenjen sa $\Delta L_0 = \Delta L_{0, \text{dop.}} \approx 0.6 \text{ m}$, što odgovara ustaljenom otklonu pokretne konzole (polumjera vrtnje $R_{pk} \approx 1.34 \text{ m}$) u iznosu $\vartheta_{pk, \text{zao.}} \approx 27^\circ$.

Za uobičajene razine najvećih radnih naprezanja u vodičima domaćih dalekovoda ($\sigma_{\text{Max}, v+dt, 240/40-AL/C} \approx 95 \text{ MPa}$; $H_{v+dt} = A_v \sigma_{\text{Max}, v+dt} \approx 26840 \text{ N}$), moćnosti kompaktnih polja s pokretnim konzolama, bez zamjena vodiča i za faktor dodatnog tereta 1.0, ograničene su tada duljinom prosječnog raspona

$$L_{0, n \rightarrow \infty} \approx (24 \Delta L_0)^{\frac{1}{3}} (H_{v+dt, n \rightarrow \infty})^{\frac{2}{3}} g_{v+dt}^{\left(\frac{-2}{3}\right)} \left[\left(\frac{g_{v+dt}}{g_0} \right)^2 - 1 \right]^{\left(\frac{-1}{3}\right)} = 233 \text{ m}. \quad (5)$$

Ta je veličina $\approx 13 \%$ manja od prosječnih raspona najduljih polja, u smislu čl. 64. pravilnika [2], koji govori o najviše 30 raspona u zateznim poljima duljina do 8 km; $8000/30 \approx 267 \text{ m}$. Za faktore dodatnog tereta 1.0, 1.6, 2.5 i 4.0, prosječne duljine ujednačenih raspona idealiziranih kompaktnih polja s tipiziranim vodičem (240/40), za koje ne bi trebalo voditi brigu o broju raspona, iznosile bi $\approx 233 \text{ m}$, $\approx 160 \text{ m}$, $\approx 106 \text{ m}$ i svega $\approx 66 \text{ m}$.

■ ... kompaktnost s pokretnim konzolama... & teret "1"...

... cca 13% manji prosječni rasponi ...

za dalekovode u kojima se propagacije havarija (šteta)

spriječavaju / ograničavaju s najvećim dopustivim brojem raspona u polju.

Dopušteni rasponi za 110 kV stupove oblika "jela" (nosive i zatezne),
za tlakove vjetra 600...1500 N/m², za uvjete najvećih radnih naprezanja 95 / 90 / 80 / 65 / 60 / 50
MPa, za dodatne terete leda 1.0 / 1.6 / 2.5 / 4.0.

Tlak vjetra p, N/m ²	Najveće radno naprezanje N/mm ²				
		1.0	1.6	2.5	4.0
600	95	533 639	476 568	414 493	349 419
750		490	441	381	320
750		574	512	445	375
900		542	483	420	354
1100		513	457	399	336
1300		493	440	383	323
1500		479	428	372	314
600	90	520 621	463 553	402 480	339 404
750		476	425	370	312
750		560	497	432	364
900		527	469	408	344
1100		499	445	387	326
1300		480	428	372	314
1500		466	416	362	306
600	80	489 585	435 520	379 452	319 381
750		449	400	348	294
750		526	468	407	343
900		496	442	388	324
1100		469	419	364	307
1300		451	403	350	296
1500		439	391	341	287
600	65	439 527	392 468	340 406	287 342
750		404	360	313	264
750		474	421	366	308
900		451	398	345	291
1100		423	376	327	276
1300		407	362	315	266
1500		395	352	306	259
600	60	423 506	376 450	326 390	275 328
750		388	346	300	253
750		452	405	351	296
900		429	382	331	280
1100		406	361	314	265
1300		391	348	302	255
1500		380	338	294	248
600	50	386 462	343 410	298 355	251 299
750		355	315	274	231
750		416	369	319	276
900		392	348	302	254
1100		371	330	286	241
1300		357	317	275	232
1500		347	308	268	226

- ... Najveće (i impozantne) duljine raspona ostvarive klasičnim konstrukcijskim rješenjima čeličnoredkastih stupova "jela" (110 kV).

- ... dalekovodi kompaktirani s pokretnim konzolama imaju (u principu) različite (i općenito manje) vrijednosti optimalnih duljina prosječnih raspona

u usporedbi s klasičnim, za jednake vodiče, zategnutost polja, klimatološke uvjete leda,...

Sekcioniranja dionica dalekovoda u kompaktirana zatezna polja

U ravničarskim zateznim poljima u kojima prosječne duljine raspona $L_{0,n}$ premašuju vrijednosti $L_{0,n \rightarrow \infty}$, potrebno je sekcionirati pojedine dionice dalekovoda u zatezna polja s manjim brojem raspona (n). Kriterij sekcioniranja moguće je izvesti iz odnosa

$$L_L = L_0 \left(1 + \frac{G_{v+dt}^2}{24H_{v+dt}^2} \right) = (L_0 - \Delta L_0) \left(1 + \frac{G_{v+dt}^2}{24H_N^2} \right) = \left(L_0 + \frac{\Delta L_0}{n-1} \right) \left(1 + \frac{G_v^2}{24H_N^2} \right)$$

u kojima je

- H_N zategnutost polja, tj. horizontalna komponenta vlačne sile, koja se ustaljuje u svim lančanicama po isčežnuću prijelaznih pojava, dok je
- ΔL_0 zbrojeni (*superponirani*) pomak stražnjeg ovjesišta, odnosno smanjenje duljine prvog raspona zaostalog leda, kao algebarski zbroj malih, ali konačnih povećanja $\Delta L_{0,rast}$. duljina rasterećenih raspona, tj.

$$\Delta L_0 \equiv \Delta L_{0,zao.} \approx (n-1) \Delta L_{0,rast.} \quad (7)$$

Za usvojenu zategnutost polja $H_{v+dt} \equiv A_v \sigma_{H,v+dt}$, uzdužnu težinu vodiča g_v , uvjete zaleđivanja g_{v+dt} i dopustiv uzdužni pomak $\Delta L_{0,zao}$, kompaktiranjima s pokretnim konzolama moguće je obuhvatiti

$$n = 1 + \frac{\Delta L_0 \left[\left(\frac{L_L}{L_0 - \Delta L_0} \right) + \left(\frac{g_{v+dt}}{g_v} \right)^2 - 1 \right]}{\left(\frac{g_{v+dt}}{g_v} \right)^2 (L_L - L_0) + \left(1 - \frac{L_L}{L_0 - \Delta L_0} \right) L_0} \quad (8)$$

ravničarskih raspona ujednačenih duljina L_0 . Izraz (8) moguće je primijeniti i na polja s manjim varijacijama prosječnih duljina raspona $L_0 = (1/n) \sum L_{0,i}$.

Približne vrijednosti dopustivog broja (n) ravničarskih raspona u kompaktiranim zateznim poljima, za uobičajena radna naprezanja 95 MPa, za tipizirani alučelični vodič "240/40" i za vodič s kompozitnom jezgrom ACCC/TW-Hawk, za (dovoljno) spora rasterećenja ($n-1$) susjednih raspona i dozvoljivo smanjenje duljine graničnog (prvog ili zadnjeg) raspona zaostalog tereta leda $\Delta L_{0,dop} \approx 0.6$ m, u ovisnosti o duljinama kompaktiranih raspona L_0 i za različite uvjete zaleđivanja (s faktorima normalnog dodatnog tereta 1.0, 1.6, 2.5 i 4.0), dane su u tabeli 3.

■ Kvantifikacija sekcioniranja

...

Dopustivi broj n raspona u sekciji

-

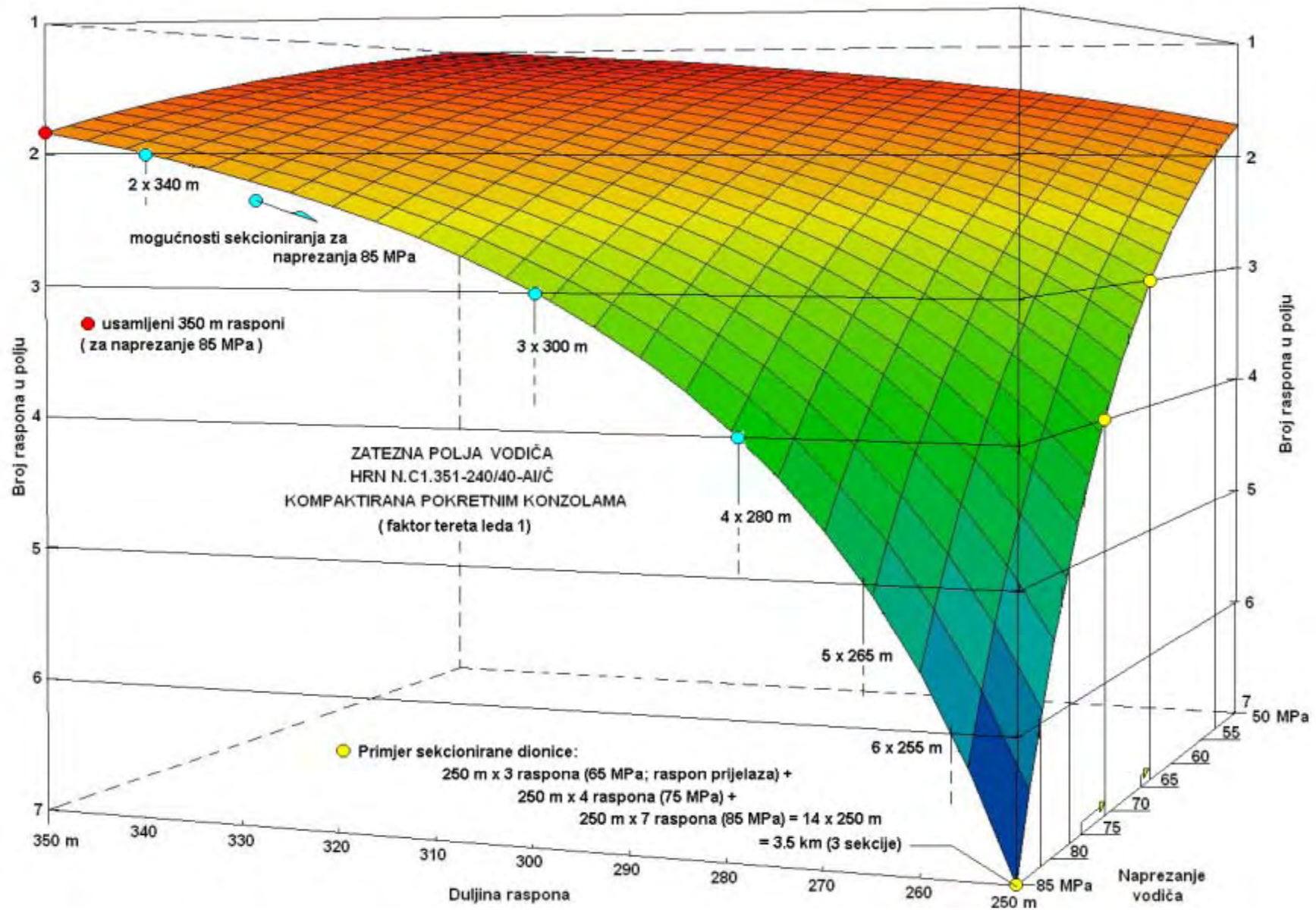
ograničen,

-

a željeli bi da je što veći,

-

zbog manjeg broja skupljih, zateznih stupova.



- Mogućnost kompaktiranja: $n=n(L_0, \sigma)$; prikaz ASTRIZE/Algebrus.

Za usvojeni dopustivi pomak $\Delta L_{0,dop}$ i cjelobrojnu vrijednost broja raspona n , zadovoljenje uvjeta $\Delta L_{0,zao} \leq \Delta L_{0,dop}$ moguće je provjeriti nakon nalaženja vrijednosti ΔL_0 koja zadovoljava odnose u sustavu jednažbi (3a), (3b) i (3c), a što se svodi na određivanje fizički prihvatljivog rješenja (lijeve nul-točke) kvadratne jednažbe

$$a \Delta L_0^2 + b \Delta L_0 + c = 0, \quad (9)$$

s vrijednostima koeficijenata

$$a = 1, \quad b = L_0(n-2) + L_L \left\{ 1 - n \left[1 - \left(\frac{g_v}{g_{v+dt}} \right)^2 \right]^{-1} \right\}, \quad c = (L_L - L_0)(n-1)L_0$$

(10 a, b, c)

Elementarne analize upućuju kako su praktične mogućnosti kompaktiranja domaćih 110 kV dalekovoda, s pokretnim konzolama i bez zamjena tipiziranih vodiča, ograničene na ravničarska područja s umjerenijim uvjetima zaleđivanja (s faktorima tereta $k_{ndt}=1.0...1.6$). Pogotovo ako se ima na umu nužnost smanjenja osnovne vrijednosti najvećeg naprezanja (≈ 95 MPa, tabela 3) na ≈ 80 MPa u naseljenim mjestima, na ≈ 65 MPa u rasponima prijelaza i 50 MPa na priključcima (priključnim mjestima) dalekovoda. Nešto veće mogućnosti kompaktiranja pokretnim konzolama nude istovremene zamjene postojećih vodiča suvremenijim - lakšim, čvršćim i električki vodljivijim vodičima, npr. s kompozitnom jezgrom ([5], tabela 2).

■ ...

Tabela 3.

Krajnje mogućnosti kompaktiranja pokretnim konzolama, klasičnim alučeličnim vodičem HRN N.C1.351-240/40-Al/Č i suvremenim (s kompozitnom jezgrom) ACCC/TW Hawk, u ovisnosti o duljinama ravničarskih raspona i za različite uvjete zalađivanja.

σ_{nmax} 95 MPa	Duljine raspona kompaktiranih polja, L_0 , m							
	240/40 -Al/Č	ACCC/T W Hawk	240/40 -Al/Č	ACCC/T W Hawk	240/40 -Al/Č	ACCC/T W Hawk	240/40 -Al/Č	ACCC/T W Hawk
Dopustivi broj raspona n								
25	244	281	171	197	119	137	81	92
20	246	284	174	200	122	140	84	96
15	251	289	179	206	127	146	89	102
10	260	300	188	217	136	157	97	112
9	263	304	191	220	139	161	100	115
8	266	308	195	225	143	165	103	119
7	271	314	200	231	148	170	107	124
6	278	322	206	238	153	177	113	130
5	287	333	215	249	162	187	120	139
4	301	350	228	264	174	201	130	151
3	326	379	251	291	194	225	147	170
2	384	448	301	351	237	276	182	212
1	$L_0 > 384$	$L_0 > 448$	$L_0 > 301$	$L_0 > 351$	$L_0 > 237$	$L_0 > 276$	$L_0 > 182$	$L_0 > 212$
Faktor dodatnog tereta	$k_{ndt} = 1.0$		$k_{ndt} = 1.6$		$k_{ndt} = 2.5$		$k_{ndt} = 4.0$	

- cca 15.5 % učinkovitiji ACCC po kriteriju prosječne duljine raspona... (za jednosistemske "jele"); smanjenja zategnutosti užadi prema krajevima DV-a =>

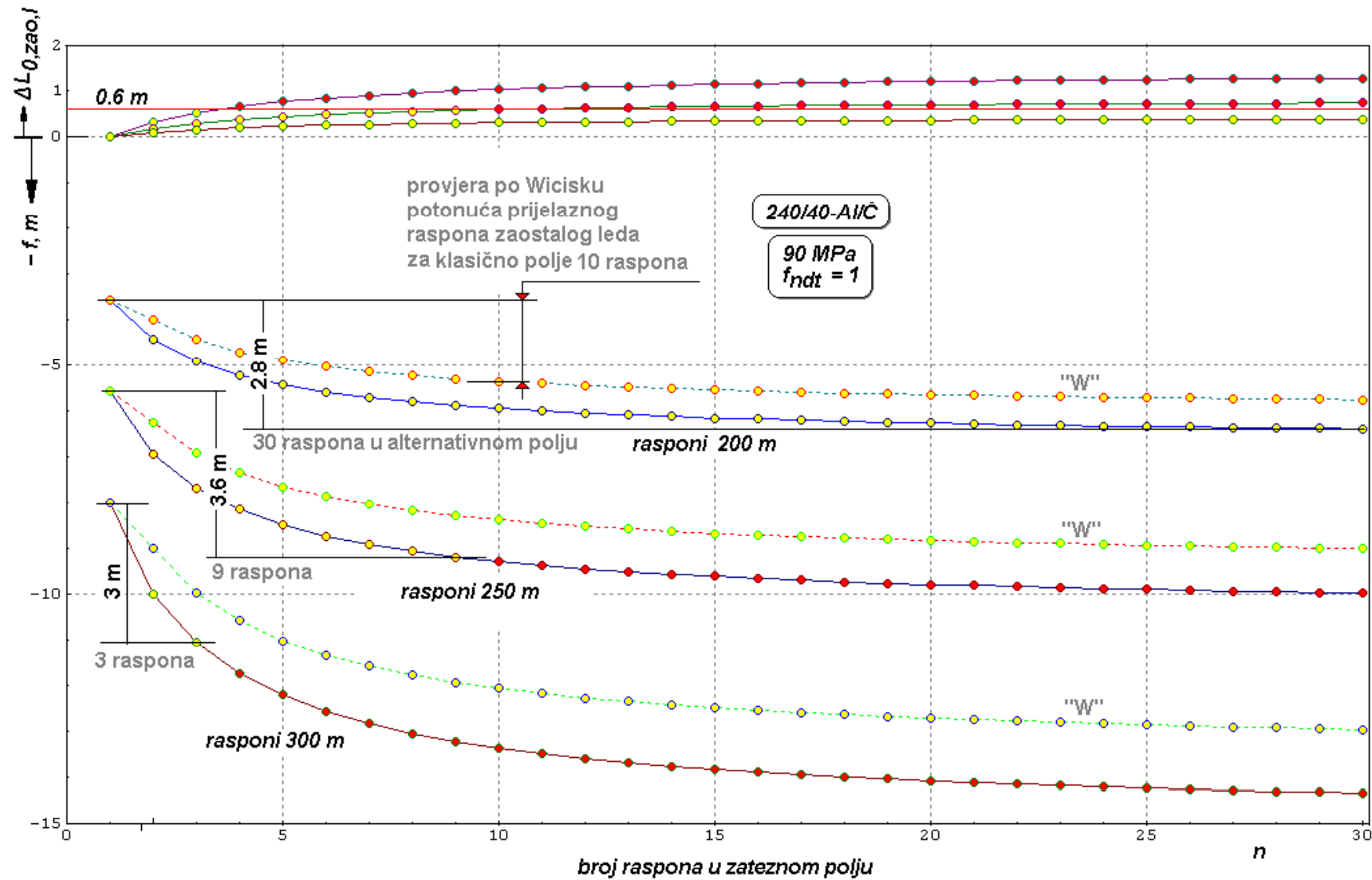
Tabela 4.

Sekcionirana polja (vodiča 240/40-Al/Č i ACCC/TW Hawk) kompaktirana pokretnim konzolama, u ovisnosti o naprezanju (50-60-70-80-90 MPa) i duljinama ravničarskih raspona, za različite uvjete zalađivanja (1.0-1.6-2.5-4.0)

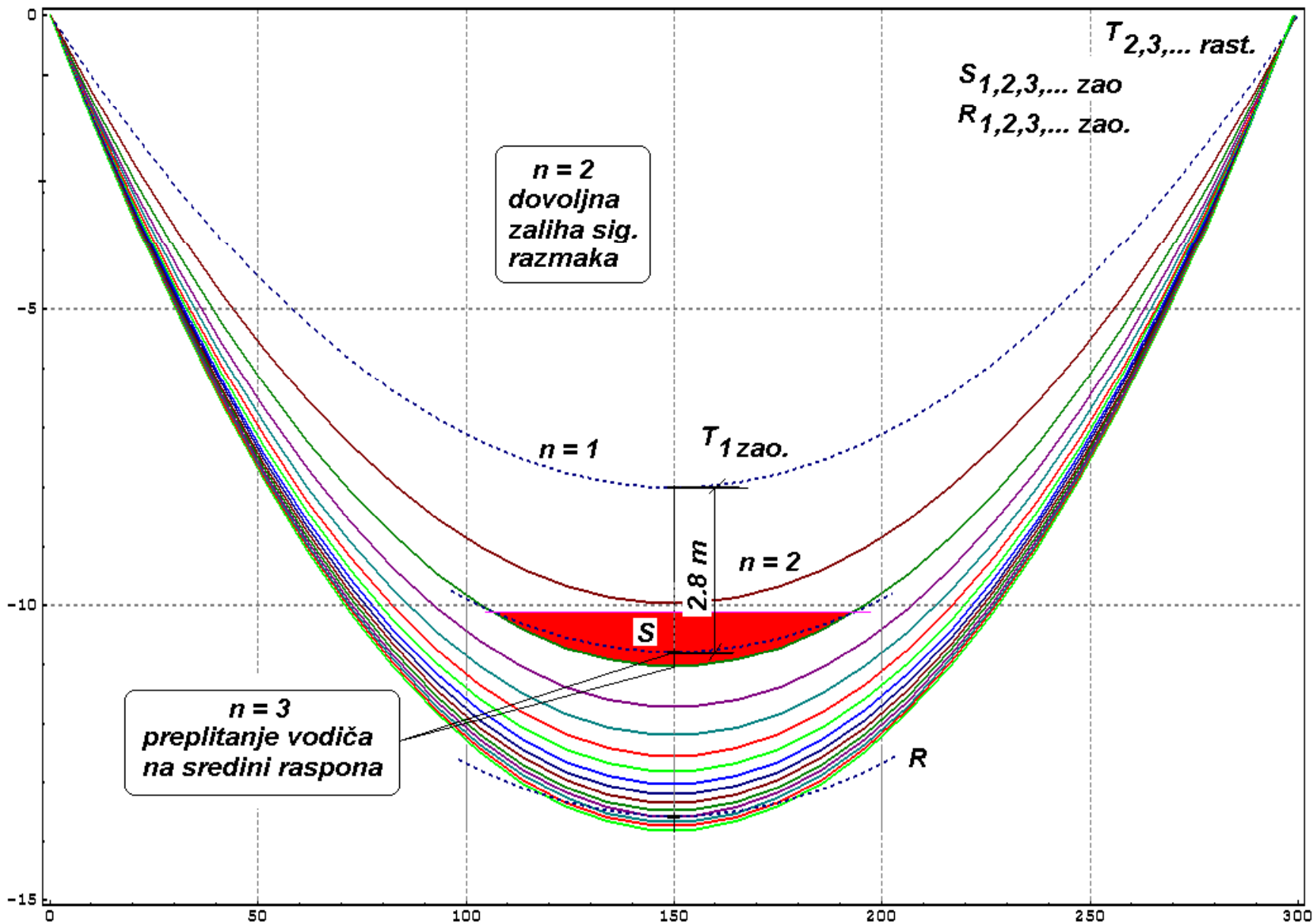
50 MPa	Duljine raspona kompaktiranih polja, L_0 , m							
	240/40 -Al/Č	ACCC/T W Hawk	240/40 -Al/Č	ACCC/T W Hawk	240/40 -Al/Č	ACCC/T W Hawk	240/40 -Al/Č	ACCC/T W Hawk
Dopustivi broj raspona n								
25	159	183	112	128	78	89	52	60
20	160	185	114	130	80	91	54	62
15	163	188	117	134	83	95	58	66
10	169	196	123	141	89	102	63	73
9	171	198	125	144	91	105	65	75
8	174	201	127	146	93	107	67	78
7	177	205	130	150	96	111	70	80
6	181	210	134	155	100	115	73	85
5	187	217	140	162	105	122	78	90
4	196	228	149	172	113	131	85	98
3	213	247	163	190	126	146	96	111
2	251	292	196	229	154	180	119	138
1	$L_0 > 251$	$L_0 > 292$	$L_0 > 196$	$L_0 > 229$	$L_0 > 154$	$L_0 > 180$	$L_0 > 119$	$L_0 > 138$
Faktor dodatnog tereta	$k_{ndt} = 1.0$		$k_{ndt} = 1.6$		$k_{ndt} = 2.5$		$k_{ndt} = 4.0$	

- Kraći rasponi na priključcima dalekovoda.

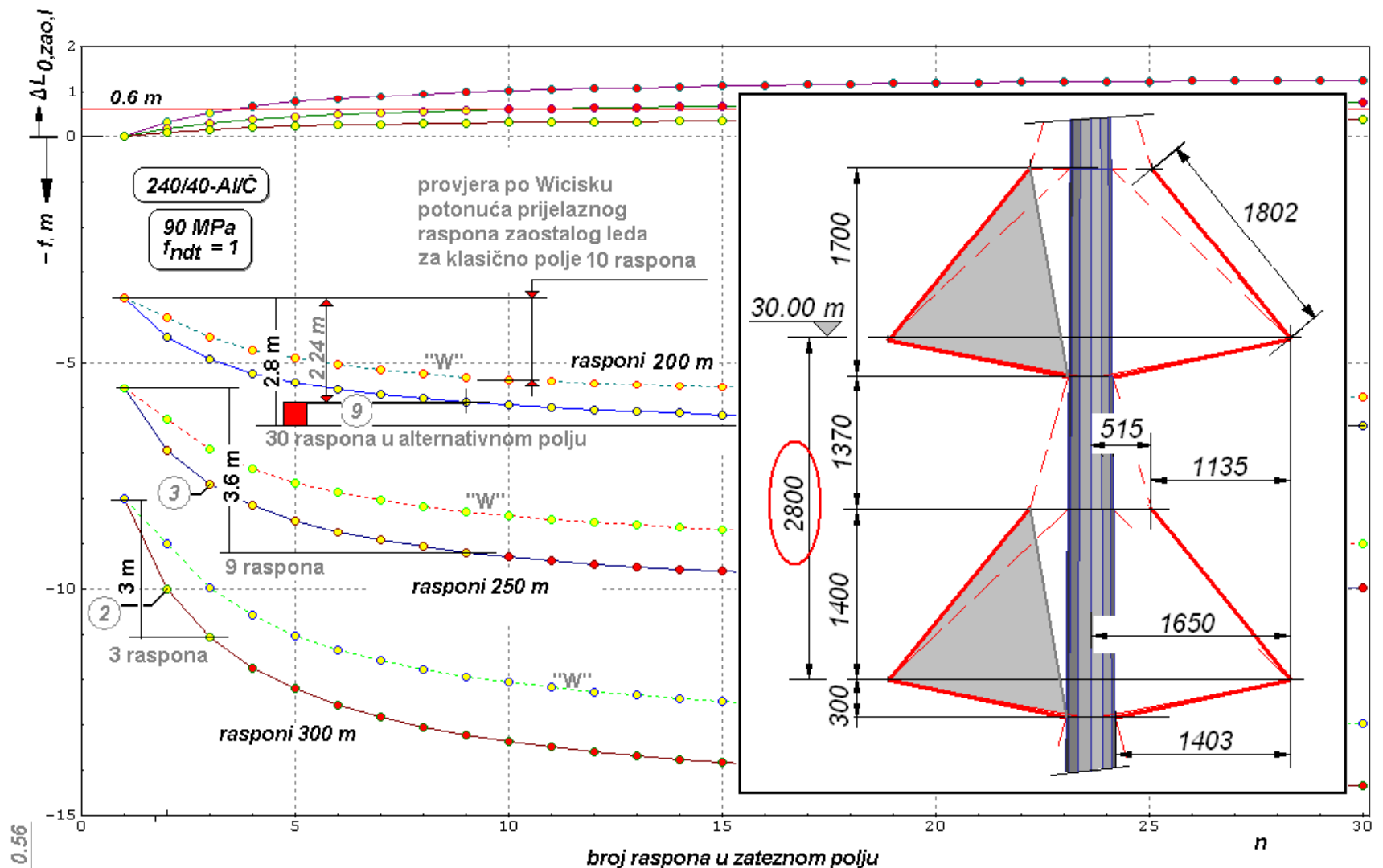
(velike zategnutosti...uobičajeni *Stockbridge* prigušivači i za ACCC)



- ... OK: za raspone pokretnih konzola ekvivalentne jednosistemskim "jelama"... ili dvosistemka kompaktirana polja s ugradnjom međufaznih rastojnika;
 naime...



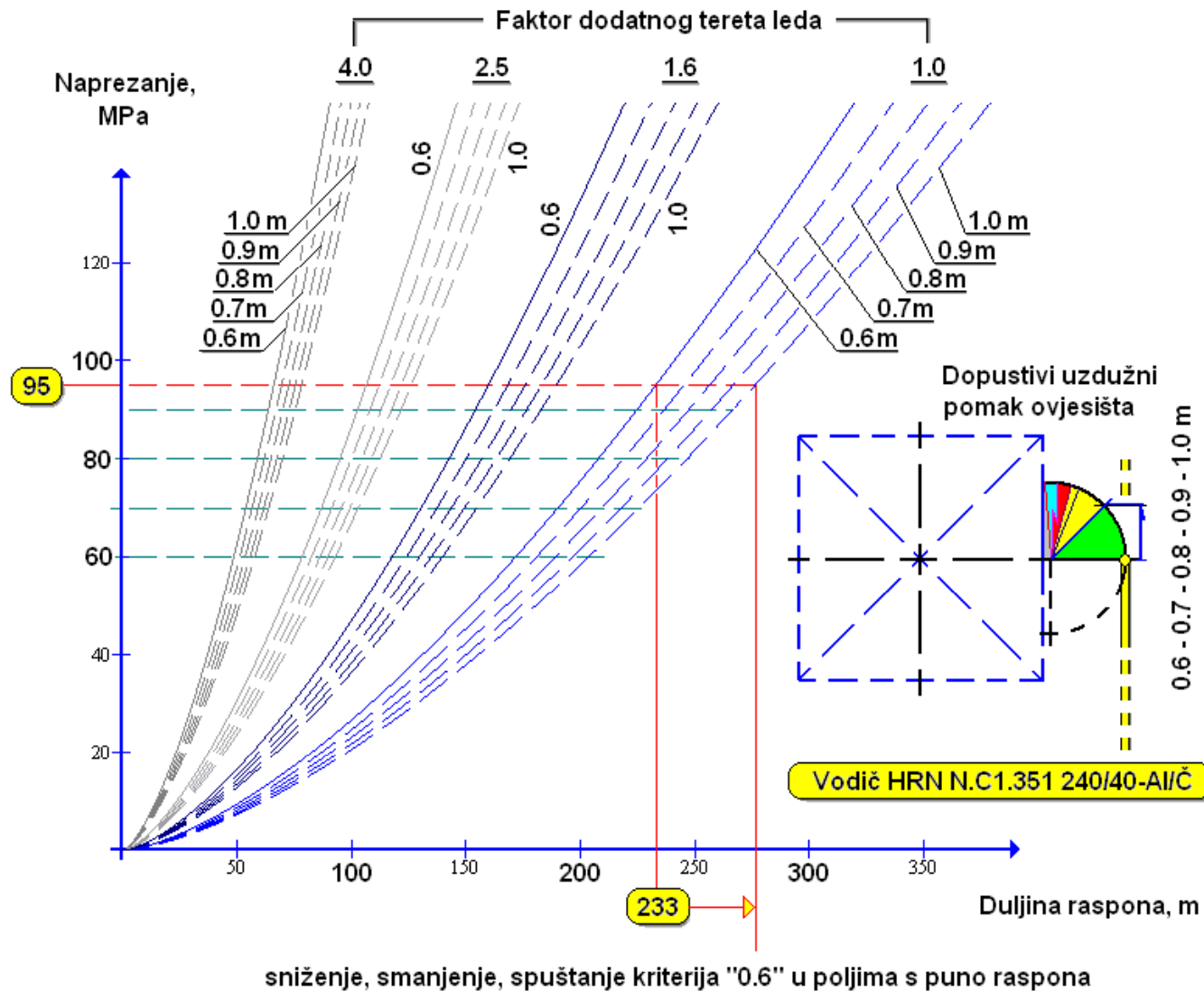
■ ... 300 m rasponi 90 MPa ... samo 2 raspona u polju bez međufaznih rastojnika !



cca $2.8 - 0.56 = 2.24$ m dozvoljivo vertikalno potonuće lančanice zaostalog leda zbog mogućih približenja nižim vodičima na sredini raspona. (bez primjena međufaznih rastojnika !)

■ ... daljnja smanjenja broja raspona za dvosistemske dalekovode kompaktirane pokretnim konzolama

⇒ ... MEĐUFAZNI RASTOJNICI – nužnost!

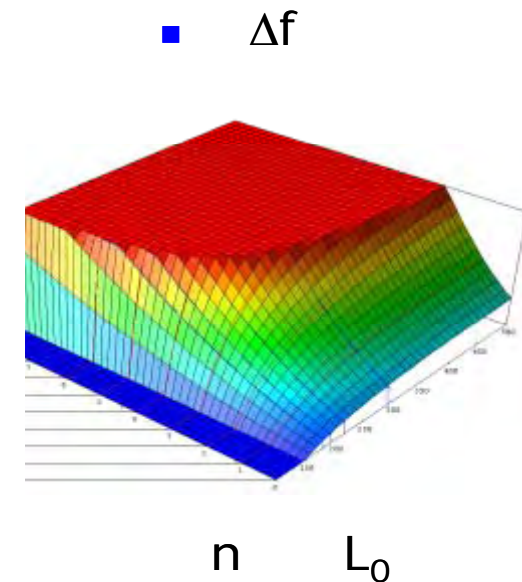


- Utjecaj smanjenja kriterija dopustivog uzdužnog pomaka "0.6 m" za polja s velikim brojem raspona ($n \rightarrow \infty$; 240/40-AL/Č).
- 233 → 244 m za $n=25$! (...10 x 260 m; 5 x 287 m; 2 x 384 m).

Sekcioniranja dvosistemskih kompaktnih vodova bez primjena međufaznih raspona
 ($\Delta L_{0,dop} < 0.6\text{m}$ i $\Delta f_{dop} < 2.8 - 0.56 = 2.24\text{ m}$)

Naprezanje, H_{ref} , MPa	Dopustivi broj raspona n	Duljina raspona L_0 , m	Uzdužni pomak ΔL_0 , m	Razlika provjesa $f_{zao} - f_{ref}$, m
110	2	340	0.3086	2.074
	3	280	0.2820	2.173
	5	240	0.2604	2.207
	8	220	0.2507	2.225
100	2	320	0.3113	2.021
	3	260	0.2732	2.061
	4	240	0.2727	2.151
	6	220	0.2676	2.211
95	2	320	0.3448	2.126
	3	260	0.3026	2.169
	5	220	0.2689	2.147
90	2	300	0.3166	1.973
	3	240	0.2652	1.951
	4	220	0.2593	2.008
85	2	300	0.3549	2.088
	3	240	0.2973	2.065
	4	220	0.2906	2.126
80	2	300	0.4005	2.217
	3	240	0.3356	2.193
75	2	280	0.3705	2.060
	3	220	0.2941	1.966
70	2	280	0.4253	2.206
	3	220	0.3376	2.105
65	2	260	0.3949	2.048
60	2	260	0.4633	2.217
55	2	240	0.4336	2.060
50	2	220	0.4041	1.904

240/40-AL/Č, faktor tereta leda 1



- ... bez ugradnje međufaznih rastojnika –
 prevladava kriterij dopustivog provjesa "2.24 m"

Ograničenja kompaktiranja pokretnim konzolama,
za aluminijски vodič s kompozitnom jezgrom ACCC/TW Hawk ($d_v = 21.8 \text{ mm}$),
bez međufaznih rastojnika

ACCC TM Hawk				
Naprezanje, H_{ref} , MPa	Dopustivi broj raspona n	Duljina raspona L_0 , m	Uzdužni pomak ΔL_0 , m	Razlika provjesa $f_{zao} - f_{ref}$, m
95	2	360	0.3210	2.177
	3	280	0.2472	2.035
	4	260	0.2512	2.115
	6	240	0.2517	2.240
	10	220	0.2373	2.216
90	2	340	0.3013	2.050
	3	280	0.2754	2.148
	5	240	0.2543	2.181
	8	220	0.2448	2.199
85	2	340	0.3378	2.170
	3	260	0.2472	1.961
	4	240	0.2467	2.047
	7	220	0.2600	2.228
80	2	320	0.3179	2.042
	3	260	0.2790	2.083
	4	240	0.2785	2.174
	6	220	0.2733	2.234
75	2	320	0.3617	2.177
	3	260	0.3174	2.221
	5	220	0.2820	2.198
70	2	300	0.3421	2.050
	3	240	0.2866	2.028
	4	220	0.2801	2.087
65	2	300	0.3966	2.207
	3	240	0.3323	2.182
60	2	280	0.3785	2.082
	3	220	0.3004	1.987
55	2	260	0.3606	1.958
	3	220	0.3574	2.166
50	2	260	0.4362	2.152

- ... Analogno (nešto povoljnije) za aluminijски vodič s kompozitnom jezgrom

- Elementarna teorija polja niveliranih, idealno savitljivih i nerastezljivih paraboličkih lančanica s uzdužno pomičnim ovjesištima:
 - jednostavno sredstvo za kvalitativna (preliminarna) razmatranja mogućnosti kompaktiranja pokretnim konzolama (s klasičnim ili suvremenim vodičima),
 - dobar potporni alat u projektiranju novih kompaktiranih ili rekonstrukcijama postojećih klasičnih polja
 - ograničene primjene - nužnost posebnih proračuna (npr. s konačnim elementima) za eksplicitne potvrde zahtjevanih veličina:
 - usponi,
 - polja neujednačenih (većih varijacija) duljina raspona,
 - područja većih varijacija jačina bočnog vjetrova,...

... o ekonomičnosti kompaktiranja
s pokretnim konzolama i suvremenim vodičima ...

Rekonstrukcije 110 kV

Elementi za proračune ekonomičnosti kompaktiranih rješenja

KOMPAKTIRANI DV

- siluete glava stupova sužene,
 - visine vratova glava stupova smanjene,
 - širine trasa sužene,
- u odnosu na ekvivalentna klasična rješenja.

Kompaktirani stupovi mogu biti
niži, jednake visine, ali i viši od klasičnih.

Kompaktirani rasponi mogu biti jednaki klasičnima,
ali i manji ili veći od klasičnih.
Zategnutosti polja također.

Kompaktirani DV mogu biti
jeftiniji... (≈ iste cijene) ili skuplji od klasičnih.

Opća ocjena ekonomičnosti klasičnih i alternativnih rješenja
ima smisla samo za optimalne konfiguracije
klasičnih i alternativnih rješenja novih dalekovoda,
za jednake uvjete i zahtjevanu performanse.



"Klasika 240/40", 95 MPa, faktor tereta leda 1

Duljina polja 2,16 km, 12 niveliranih raspona duljina 180 m, 2 zatezna stupa i 11 nosivih.

$$H^* = 95 \times 282.5 = 26840 \text{ N}$$

$$g^* = 18.11 \text{ N/m}$$

$$\text{Referentni provjes: } f^* = G^* L_0 / (8 H^*) = g^* (L_0)^2 / (8 H^*) = 2.73 \text{ m}$$

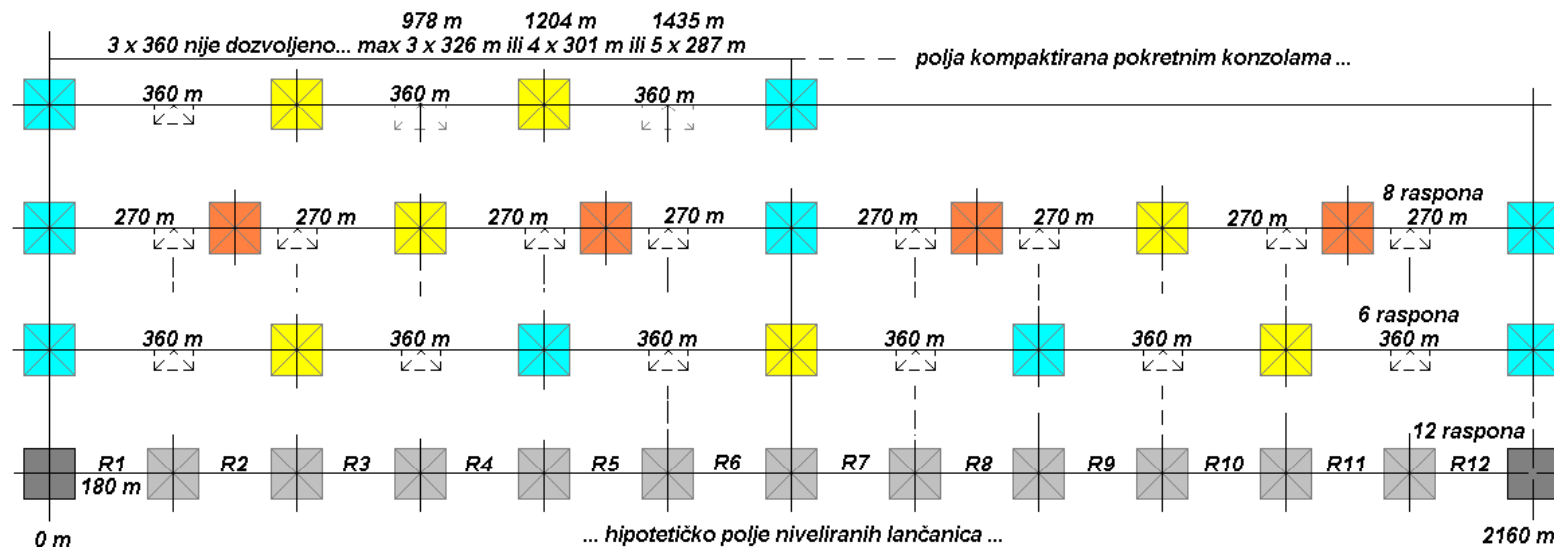
Zamjena 1 novi raspon za 2 stara... izbacivanje svakog drugog stupnog mjesta, 4 ZS (2 više) + 3 NS (8 manje), ali svi (njih 7 umjesto 13) znatnije viših gabarita

$$\frac{360 \text{ m}}{f^* = 10.93 \text{ m}}$$

Zamjena 2 nova raspona za 3 stara... uklanjanja 8 starih stupnih mjesta, ali stvaranja 4 nova stupna mjesta, ukupno 1 novi zatezni stup (uz 2 granična), te ukupno 6 nosivih stupova (5 uklonjenih), svi stupovi (njih 9) nešto viših gabarita.

$$\frac{270 \text{ m}}{f^* = 6.15 \text{ m}}$$

Procjene potrebnih povišenja alternativnih stupova treba zasnivati na razlikama u promjenama provjesa alternativnih (uvećanih) raspona i klasičnih (kraćih, "po Wycisku"), za zaostali led samo u prijelaznim rasponima.



- ... osnove sekcioniranja ... problematika optimalnih sekcija novih dalekovoda i sekcioniranja u gabaritima postojećih polja ... održanja stupnih mjesta ...



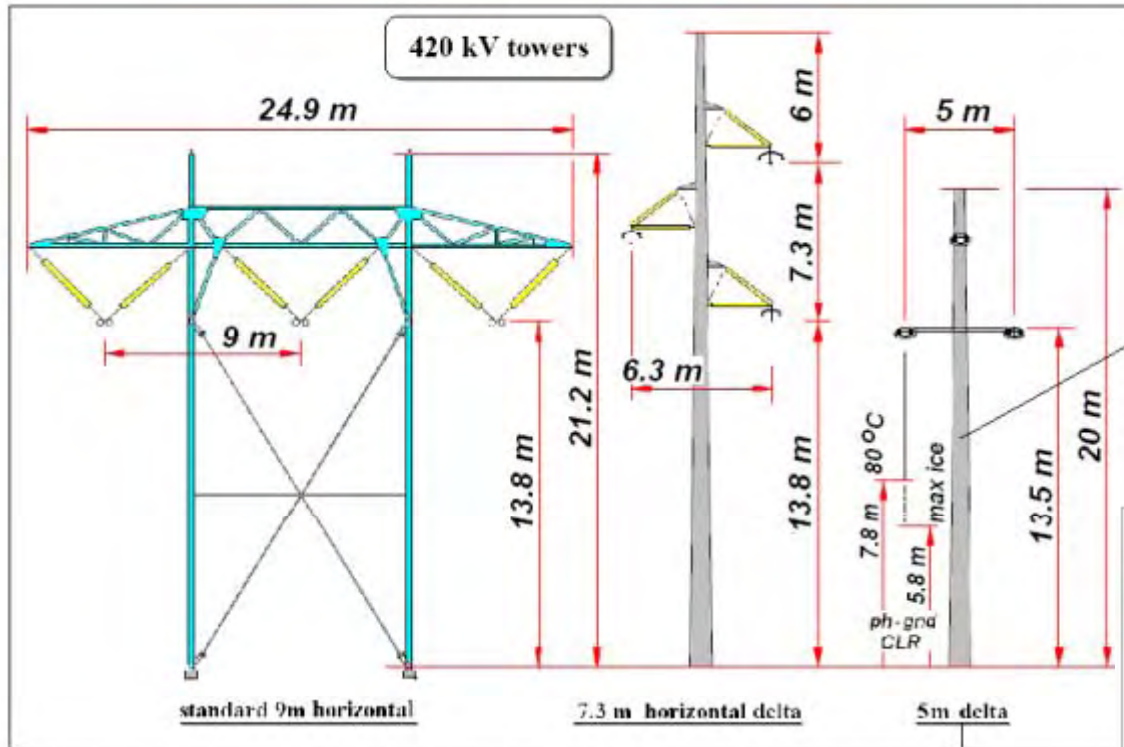
21, rue d'Artois, F-75008 Paris
http://www.cigre.org

22/33/36-08

Session 1998
© CIGRE

A compact 420 kV line utilising line surge arresters for areas with low isokeraunic levels.

Diarmid Louden, Kjell Halsan; Statnett, Norway
Uno Jonsson; Svenska Kraftnet,
Dan Karlsson; STRI,
Lennart Stenstrom, Jan Lundquist; ABB Switchgear,
Sweden



... a pole diameter of 1 m at the base, tapering to 0,6 m at the top.

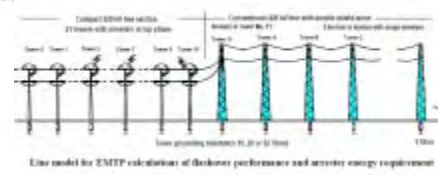


Nordic countries... low isokeraunic level (<20 days/year),

- removing the shield wire and using line surge arresters,
- reduction of tower height,
- reduced visual impact,
- eliminated the risk of the shield wires sagging between the phase and causing flashovers... for areas prone to icing.

- The pole is designed for :
- Maximum span length 250m
 - Maximum ice 6 kg/m
 - Maximum wind 32 m/s
 - Lightning impulse withst. 1175 kV
 - Phase spacing 5m
 - Conductors triple A2

25mm ra approx ec



Surge arrester positioned under the insulator strings in top phase of the compact line

Electrical data for transmission line arrester

Rated voltage	10 kA	20 kA	40 kA	65 kA
kV _{max}	115	115	115	115
kV _{nom}	75	85	85	100

- ... 420 kV/5m delta-I-sist/...odvodnici prenapona...
- ...svi stupovi zatezni...250 m rsp... 30% ↑\$

... uz preliminarne procjene ekonomičnosti kompaktiranja pokretnim konzolama
110 kV prigradskih dalekovoda sa i bez zamjena kakvoće vodiča
(240/40, ... 360757 -AL/Č; ACCC/TW Hawk, Drake,...)

- ... primjer...

- dionica 110 kV dalekovoda "Samobor-Rakitje",
 - postojeće polje 6.019 km; vodič 240/40-AL/Č,
 - 2 zatezna stupa i 20 nosiva stupa,
 - 21 raspon, prosječna duljina 286.62 m,
 - zahtjev održanja postojećih stupnih mjesta

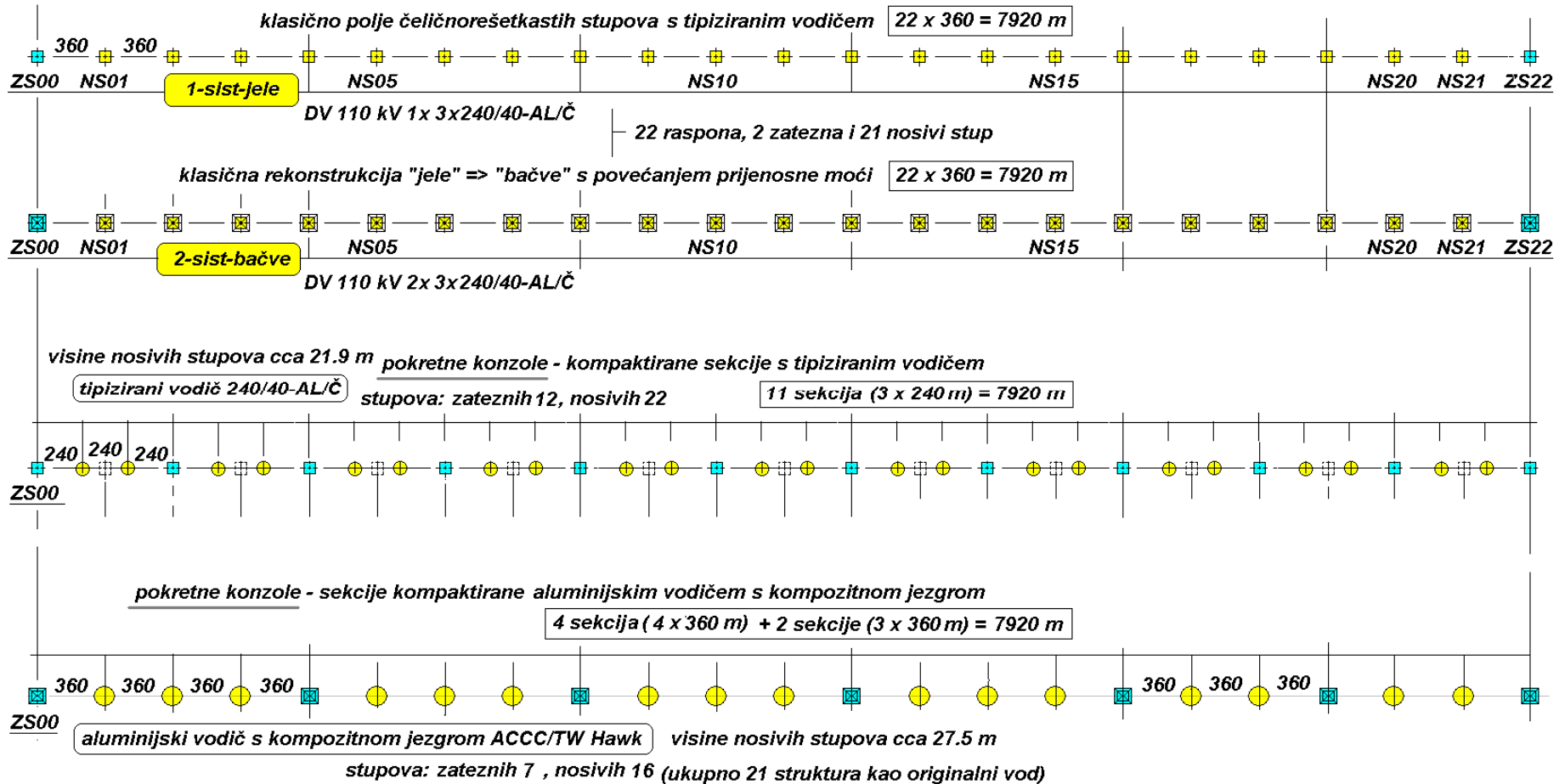
- opcije: mogućnost ugradnje pokretnih konzola
na poligonalne stupove ili
na čeličnorešetkaste trupove
(klasični stupovi bez nepokretnih konzola)

-
- kompaktiranja s pokretnim konzolama i tipiziranim vodičem u 4 sekcije
(3 nosiva stupa potrebno rekonstruirati u zatezne)

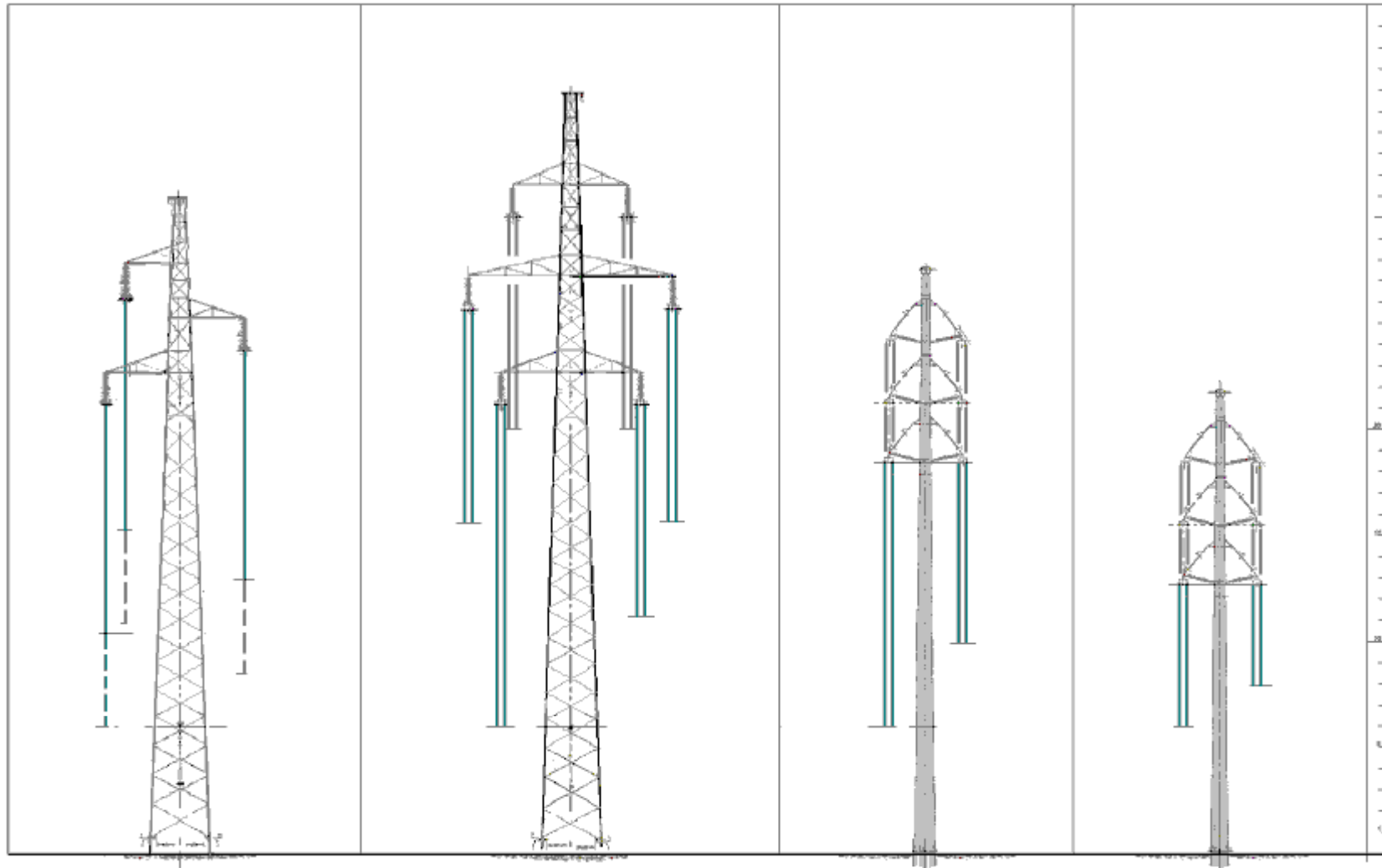
-
- primjenom ACCC/TW vodiča dovoljno 2 sekcije i 1 rekonstrukcija "N" ⇔ "Z"

Obje varijante s primjenama međufaznih rastojnika!

... Ilustracija rekonstrukcija (*Face-lifting*) starih *Jela* u nove *Bačve* ili kompaktiranja u nove *Kompakte* ...



■ ... ilustracija kompaktiranja polja s puno raspona



... Siluete nosivih stupova ...

1-sistemske "jele",

dvosistemske "bačve",

6 sekcija "kompozita" (1:1),

11 sekcija tipiziranog užeta
(3 nova za 2 stara raspona)

21+2 stupa, rasponi 360m;

21+2 stupa, rasponi 360m;

isto 23: 16 nosivih i 7 zateznih (5 prer), rasp 360m

22 nos. i 12 zat. (10 prer; rsp 240m)

Tipične pretvorbe 110 kV DV 1-sistemskih "jela"
u dvosistemske "bačve"
(npr. vodič 240/40-AL/Č, 95 MPa, led "1", polje 22 x 360 m raspona;)
nisu moguće bez

- proširenja postojeće trase za ≈ 3.1 m,
- povišenja ovjesišta donjih vodiča za cca ≈ 5.1 m.

Alternativan vod kompaktan s pokretnim konzolama
traži sekcioniranje istog polja u npr...

Varijanta I (tipizirani vodič):

11 sekcija (po tri kraća raspona, duljine 240 m).
Nosivi stupovi (visina ≈ 21.9 m) takvog voda
niži su za cca 9.42 m od početnih "jela" (≈ 31.3 m),
odnosno cca 14.52 m od klasičnih "bačvi" (≈ 36.40);
Trasa (≈ 13.3 m) kompaktnog voda
za 5.6...6.3 m je uža od klasične ("bačve"), odnosno
za 2.45...3.2 m uža od početne trase ("jele").

Pogodnosti i nedostaci:

- suženje trase u čitavoj duljini polja (oslobađanje prostora 49900 m²),
 - 14.2 m "visinske estetike" boljeg uklapanja u okoliš,
 - nastavak primjene tipiziranog vodiča
 - povećan broj nosivih i zateznih struktura (23 \Rightarrow 34),
- napuštanja 11 postojećih stupnih mjesta i stvaranja 22 novih,
 - pojačanja temelja na 10 postojećih stupnih mjesta (N \Rightarrow Z)
 - zadržanja jednakog broja klasičnih visećih štapnih izolatora,
- ugradnje 132 pokretne konzole (za svih 6 faznih vodiča ili snopova),
 - ugradnje 184 međufazna rastojnika ("I", duljina 2.8 m),...

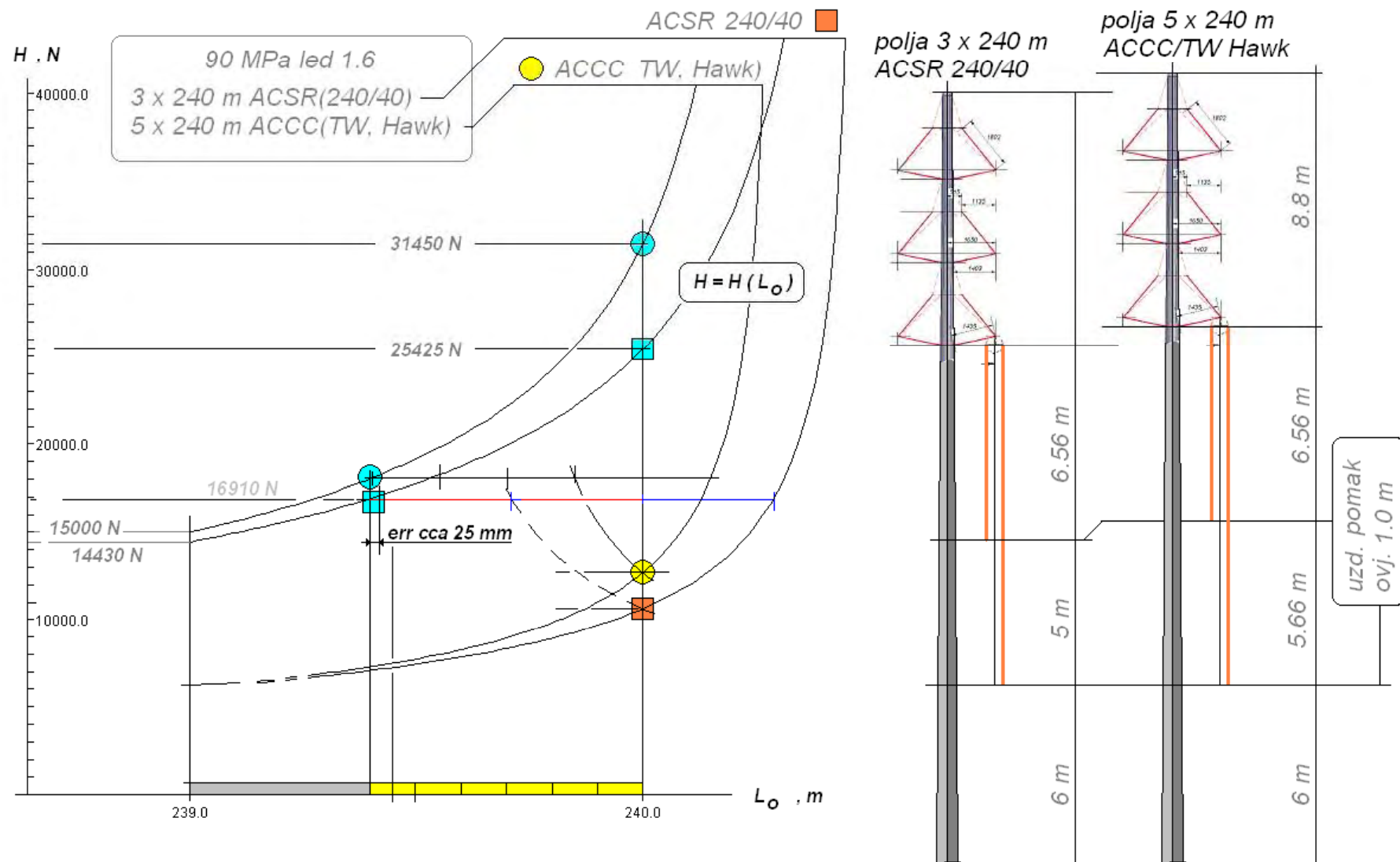
Varijanta II

- kompaktiranje zamjenom tipiziranog vodiča (240/40-AL/Č) aluminijskim s kompozitnom jezgrom (ACCC/TW Hawk),
 - zadržanje istih stupnih mjesta,
 - polje 22 raspona potrebno sekcionirati (npr. u 6 sekcija, 4 x 4 x 360 m + 2 x 3 x 360m),

Zbrojene visine stupova "bačva" ... cca $24 \times 36.395 = 873.5$ m
(u dolarskom ekvivalentu $1Z \approx 1.5N$, \$)

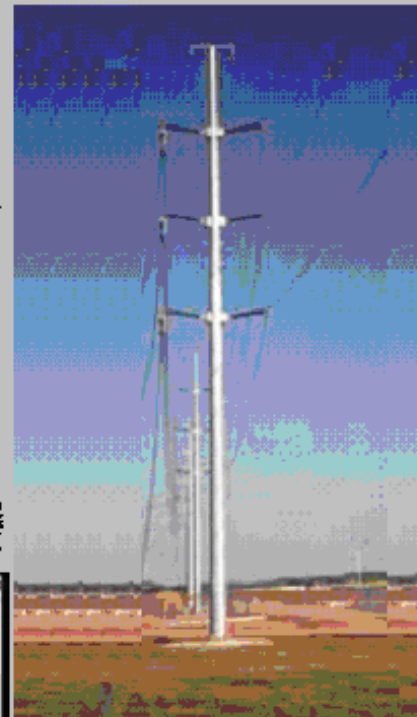
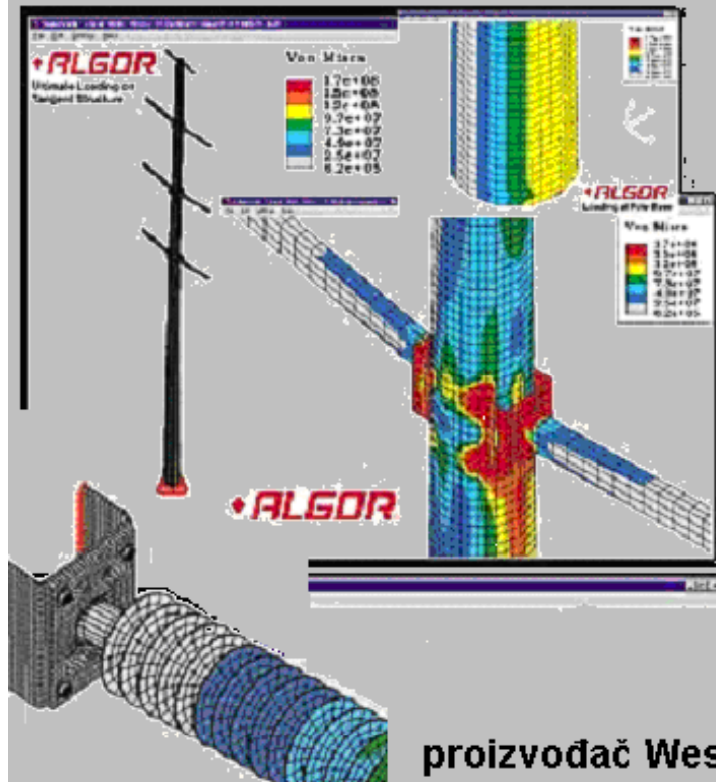
Visine kompaktiranih stupova... cca $(7 \times 1.5 + 16) \times 27.51 = 26.5 \times 27.51 = 729$ m (ekv.\$),

- cca 16.5 % smanjeni troškovi nižih stupova ($36.395 \text{ m} \Rightarrow 27.51 \text{ m}$),
 - potrebna "pojačanja" na 5 stupnih mjesta ($N \Rightarrow Z$),
- $PK 16 * 6 = 96$ kom, MRast 176 kom , KVisŠI $12 \times 6 = 72$ kom (12 za bačve);
- 2...3 puta skuplje zamjensko uže, ali zbog povoljnije vodljivosti (manjeg otpora) brza amortizacija početnih inv. troškova (cca 1.5...2 god po "USA" postupku procjene...)
- mogućnost rada zamjenskog vodiča na temperaturama uobičajenim za ACSR, ali i na povišenim ili vrlo visokim (povećanja prijenosnih moći), tada
 - s povećanim gubicima, te s primjenom skuplje,
 - visokotemperaturne (HT) stezne opreme i pribora
- Iste pogodnosti suženja trase kao u varijanti I

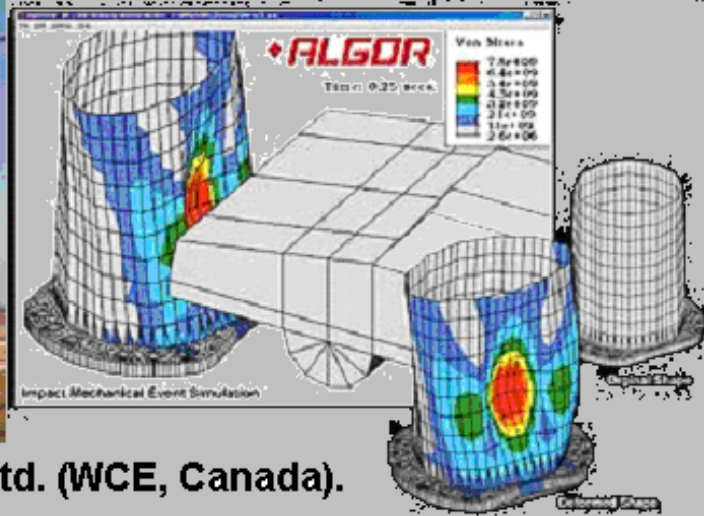
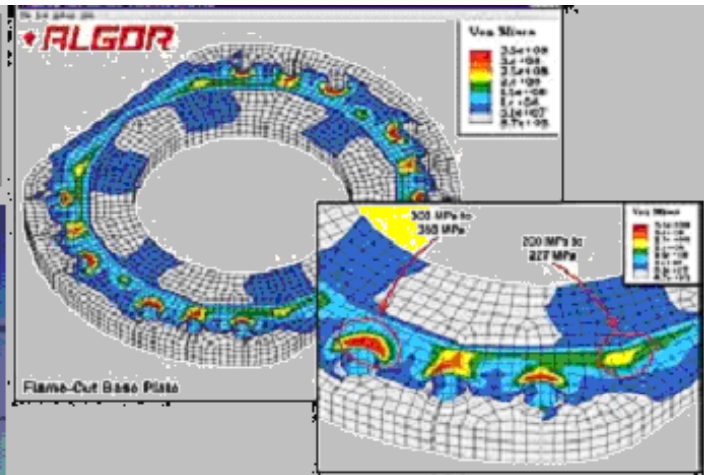


... Primjer sekcioniranja za "led 1.6" i zategnutost 90 MPa;
 ACSR-240/40 : ACCC Hawk = zatezni stup svakih 720 / 1200 m!

**Specijalističke strukturalne analize (FEA / MES, ALGOR inc.)
projektanta Ioana Giosana (2005) pri optimiranju varene
konstrukcije zateznih stupova 138 kV**



proizvođač West Coast Engineering, Ltd. (WCE, Canada).



- ... *Research and Development in WCE* ...

Dinamičke simulacije s konačnim elementima

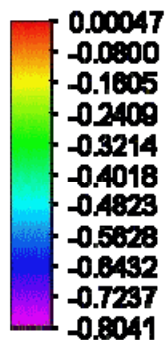
- osnovni i originalni koncepti modeliranja
kompleksnih simulacija:

- prostor i vrijeme,
- različite konstrukcije (stupovi, izolatori,...),
 - različite vrste vodiča,
- složeni fizički scenariji (led, vjetar,...) !,...

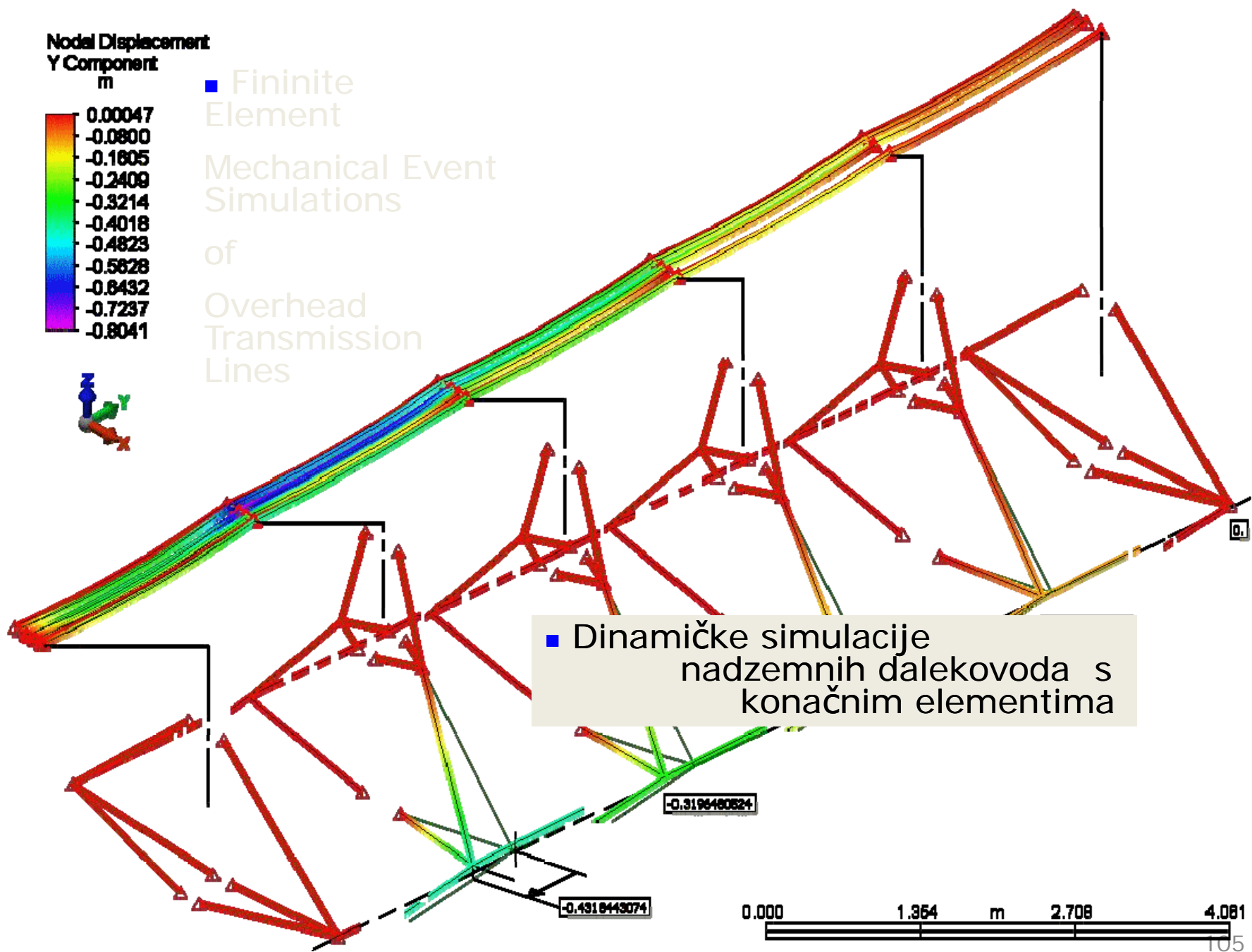
s primjerima proračuna novih izvedbi dalekovoda:

- provjere inženjerskih pretpostavki i dosega elem. teorije,
- ilustracije mogućnosti FE alata u potpori projektiranja nadzemnih vodova.

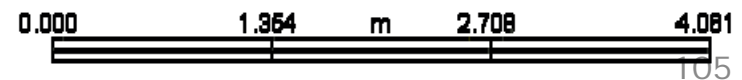
Nodal Displacement
Y Component
m

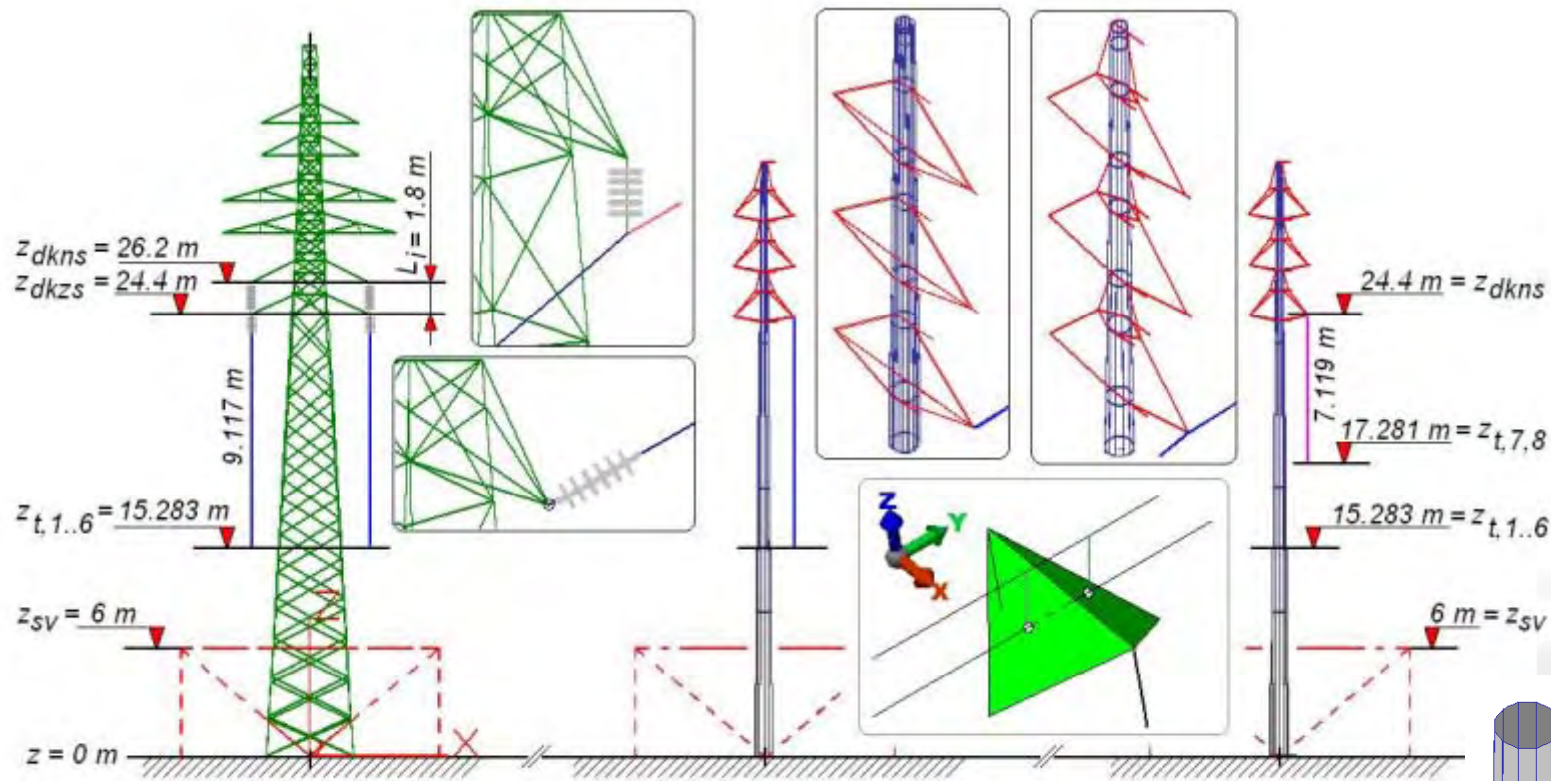


■ Finite Element
Mechanical Event Simulations
of
Overhead Transmission Lines

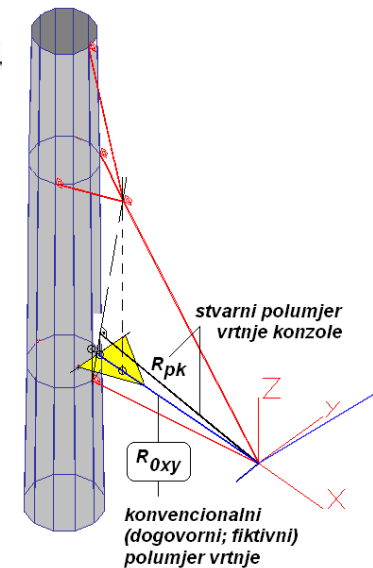


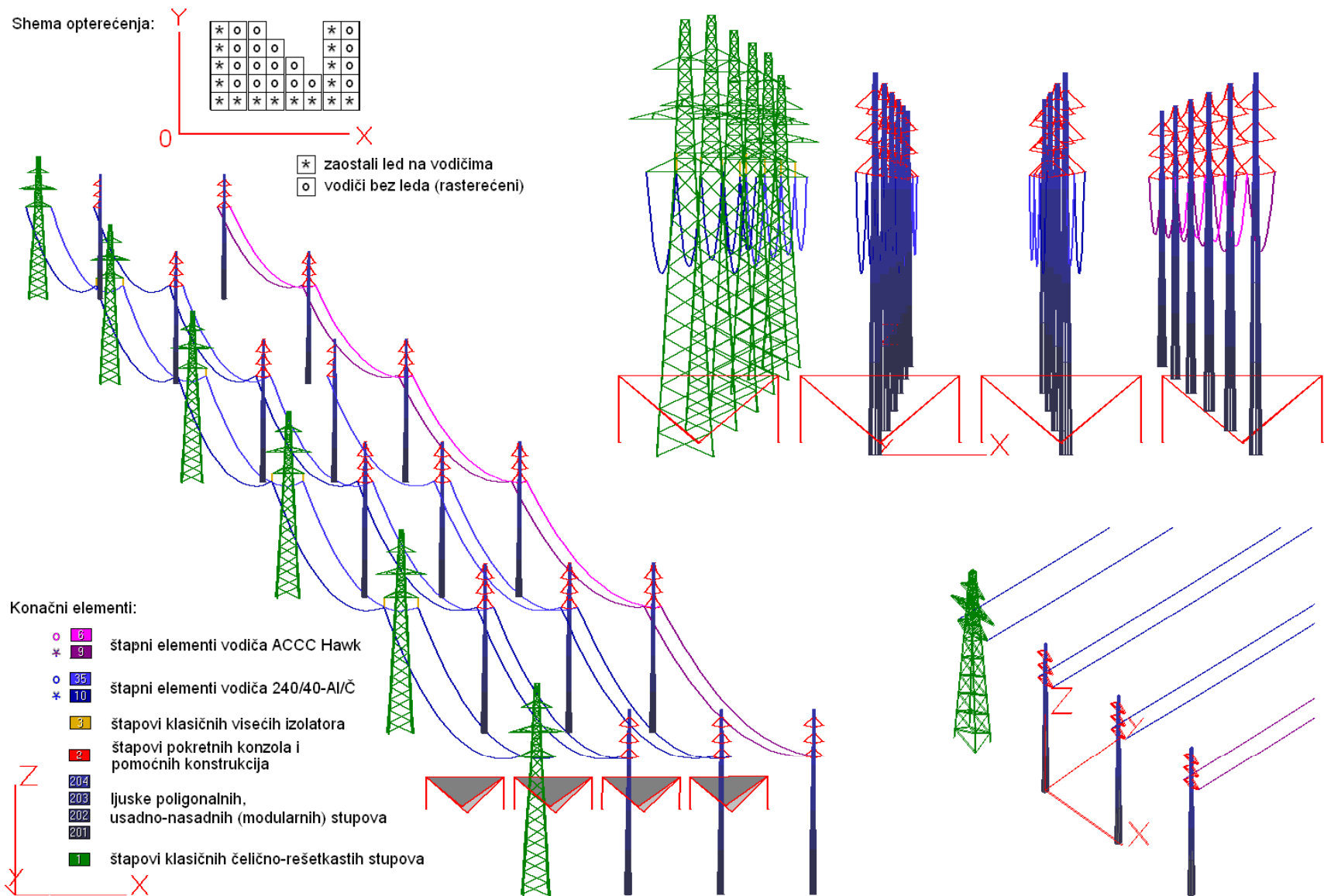
■ Dinamične simulacije nadzemnih dalekovoda s konačnim elementima



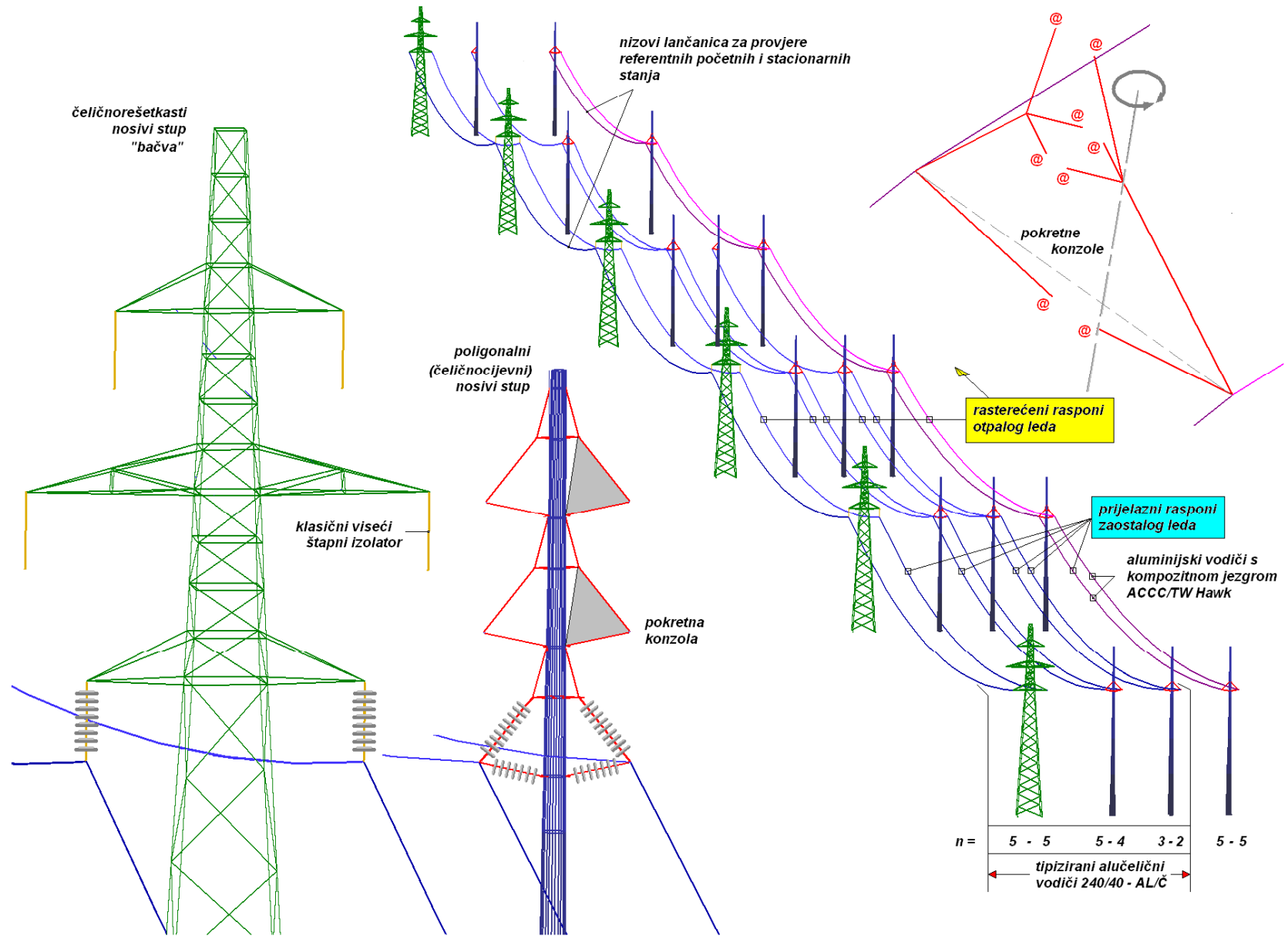


- MODELIRANJA KONAČNIH ELEMENATA
 - klasičnih, čeličnorešetkastih stupova,
 - poligonalnih stupova (plates/ploče),
 - užadi (vodiča; zaštitna užeta izostavljena...),
 - štapova klasične izolacije ("I", "V"),
 - pokretnih konzola,
 - međufaznih rastojnika,
 - sidrene užadi,
 - pomoćnih konstrukcija (etalonski "tetrapaci")...





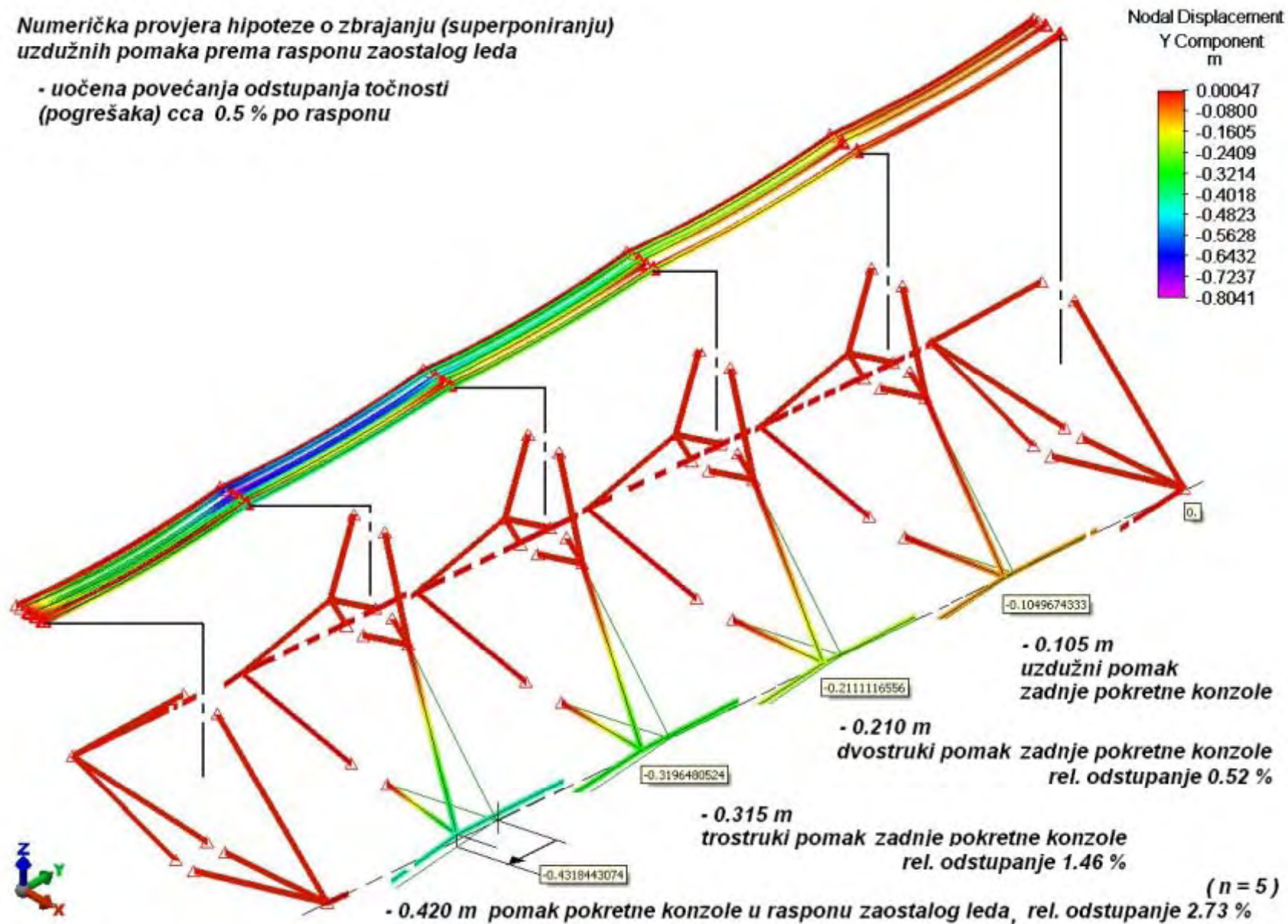
■ Modeliranja klasičnih i kompaktiranih polja - samo 1 simulacija za provjeru svega rečenog !!!



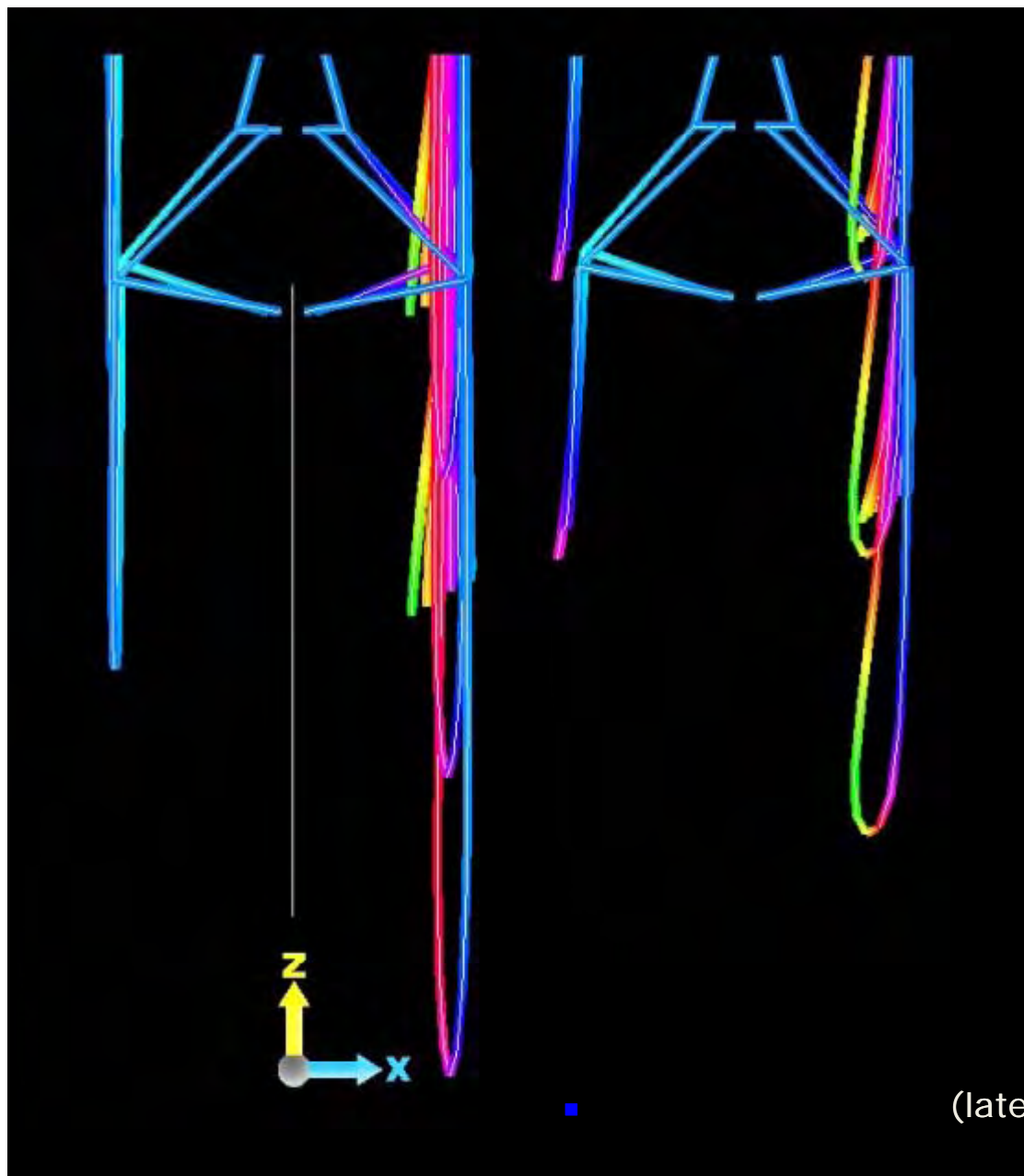
■ ...

**Numerička provjera hipoteze o zbrajanju (superponiranju)
uzdužnih pomaka prema rasponu zaostalog leda**

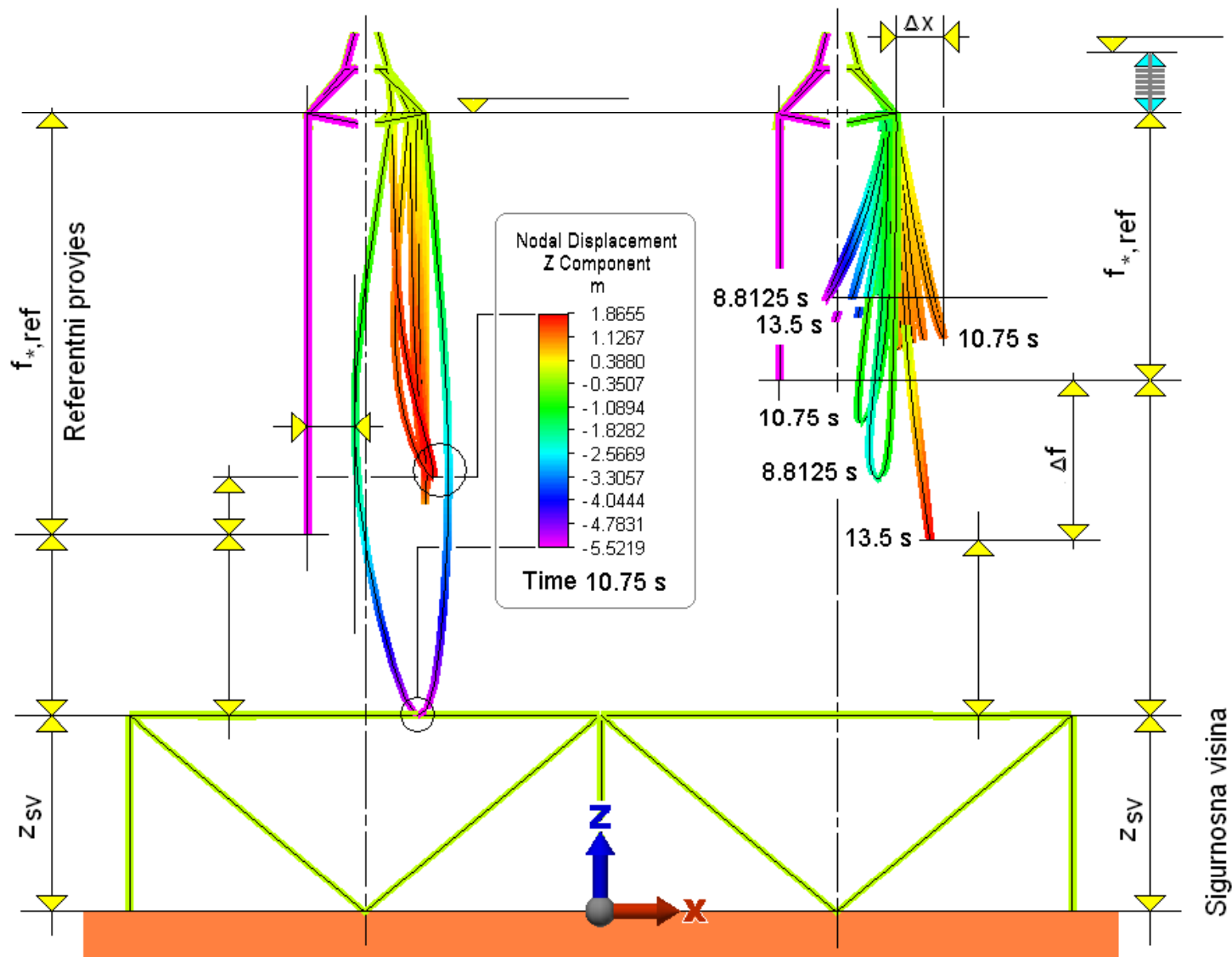
- uočena povećanja odstupanja točnosti
(pogrešaka) cca 0.5 % po rasponu



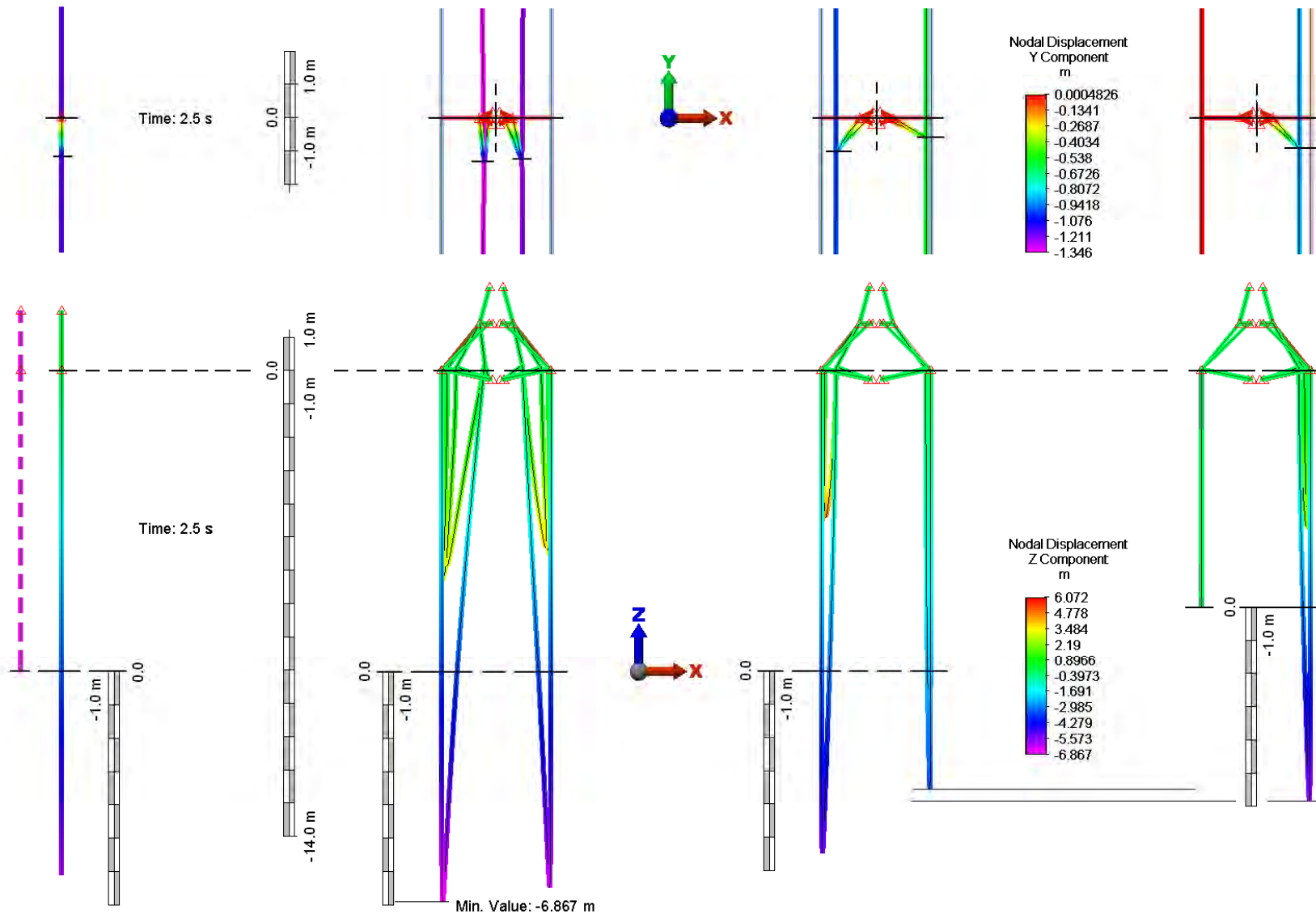
- Uz provjere hipoteze o dominirajućim uzdužnim pomacima i linearnoj superpoziciji uzdužnog pomaka...



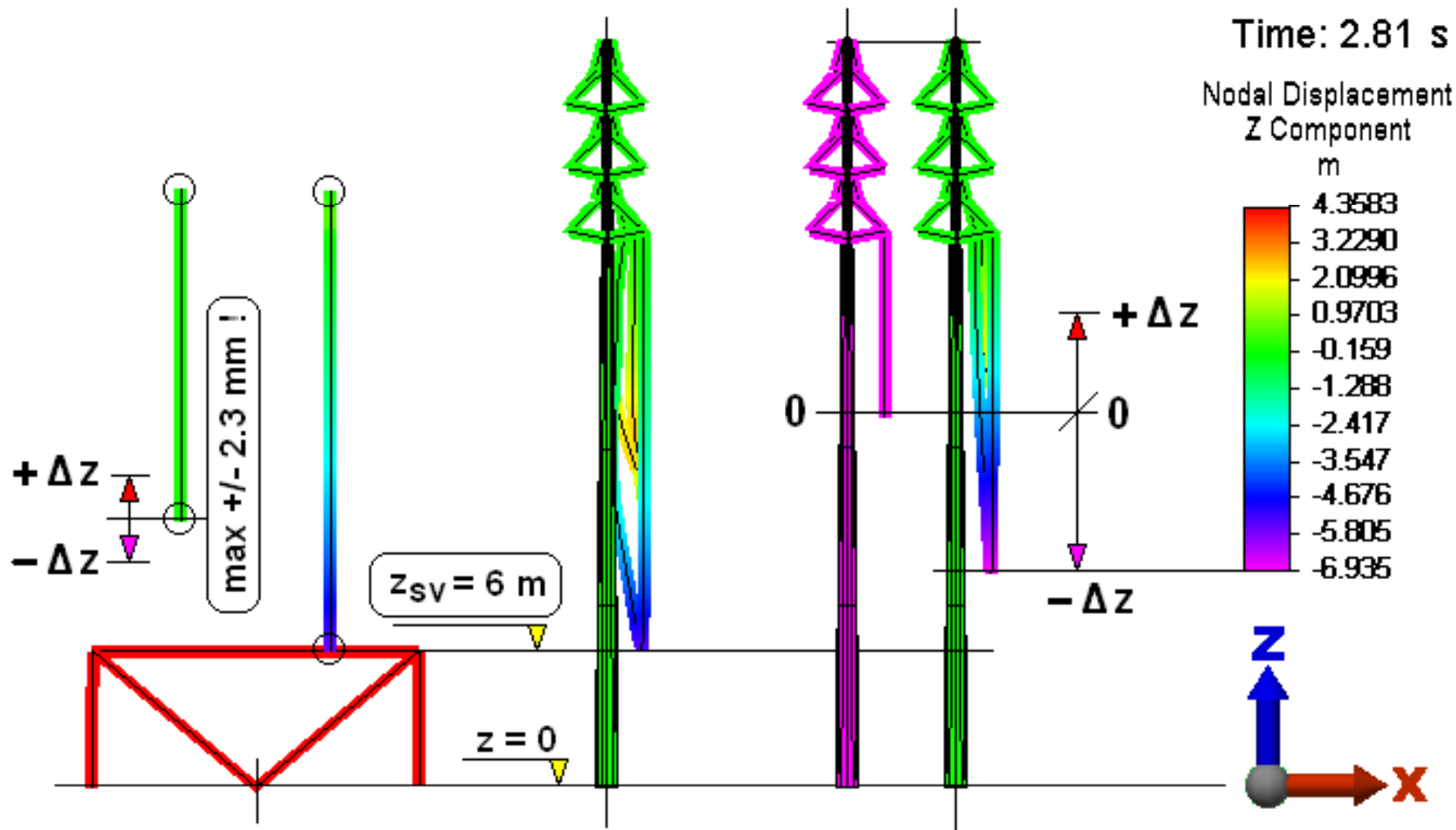
(lateralnih gibanja (njihanja) užadi...



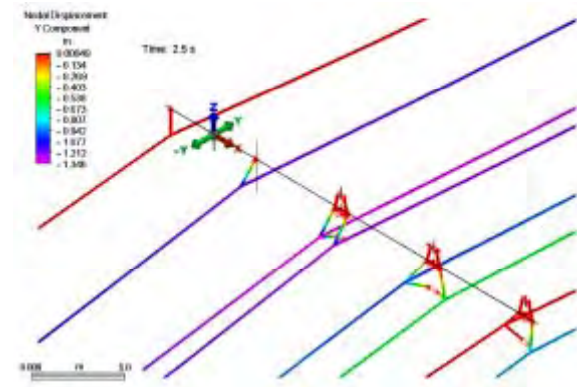
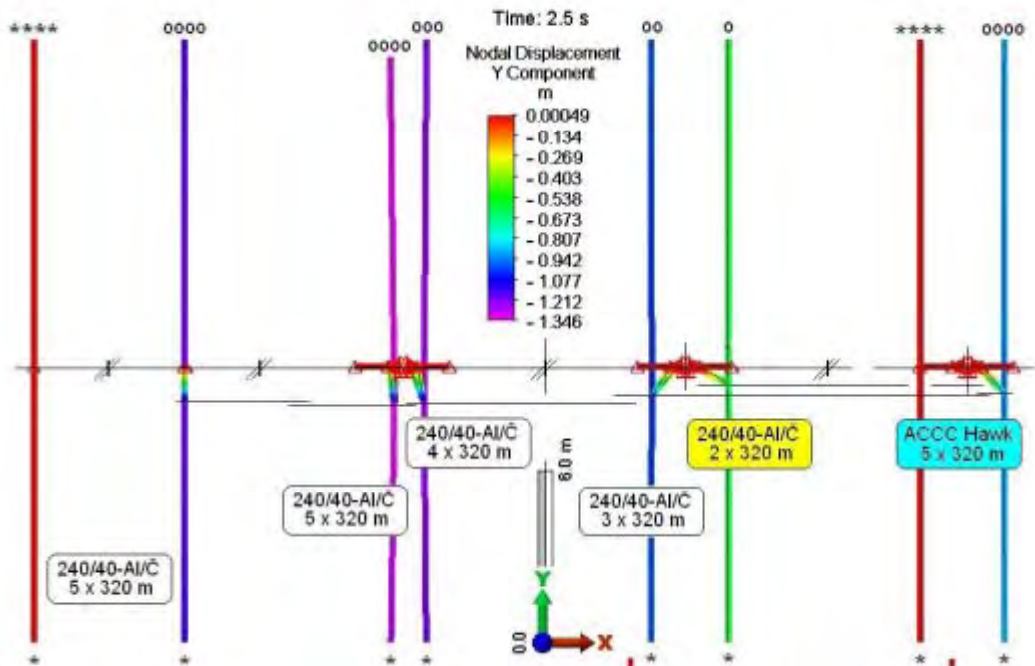
- Sigurnost prije svega...; i njihanja užadi zbog lateralnih pomaka ovjesišta užadi na pokretnim konzolama...



- "*Klasika vs alternativa*" - Analize sekcioniranja kompaktiranih polja... (pogled odozgo i sprijeda)

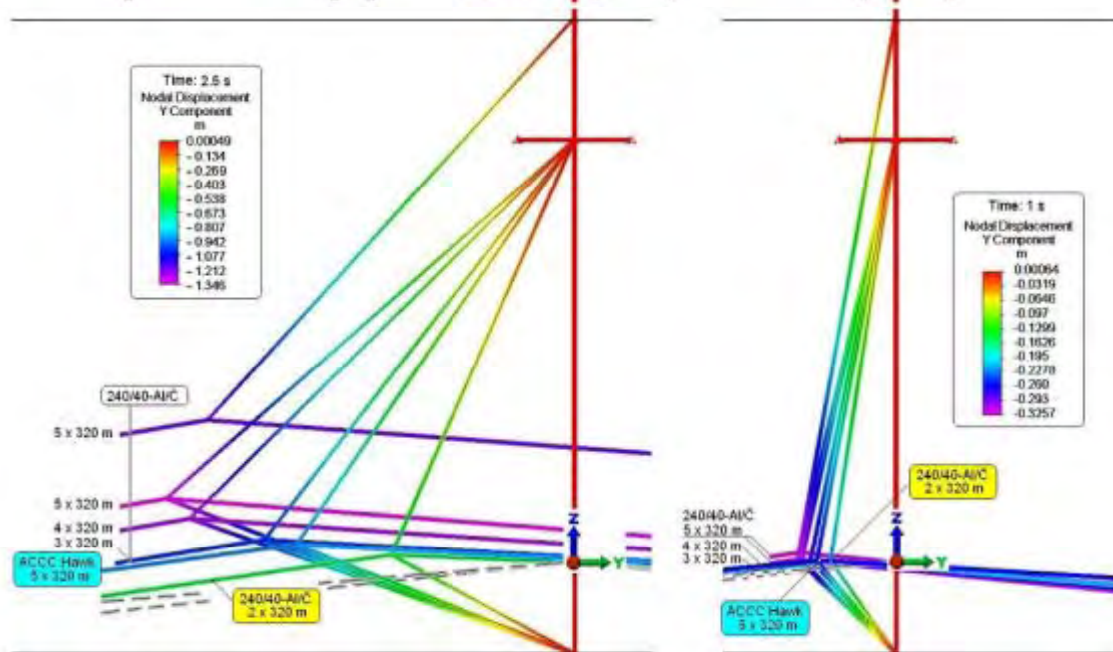


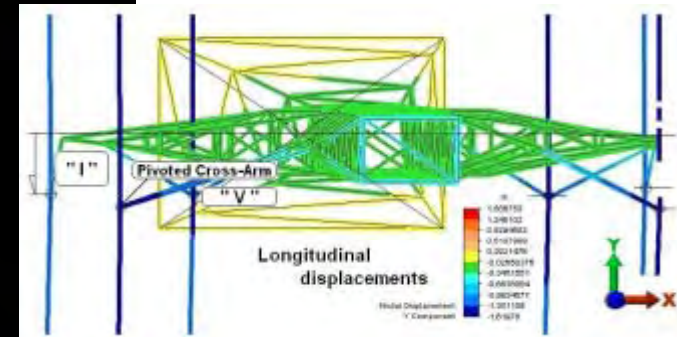
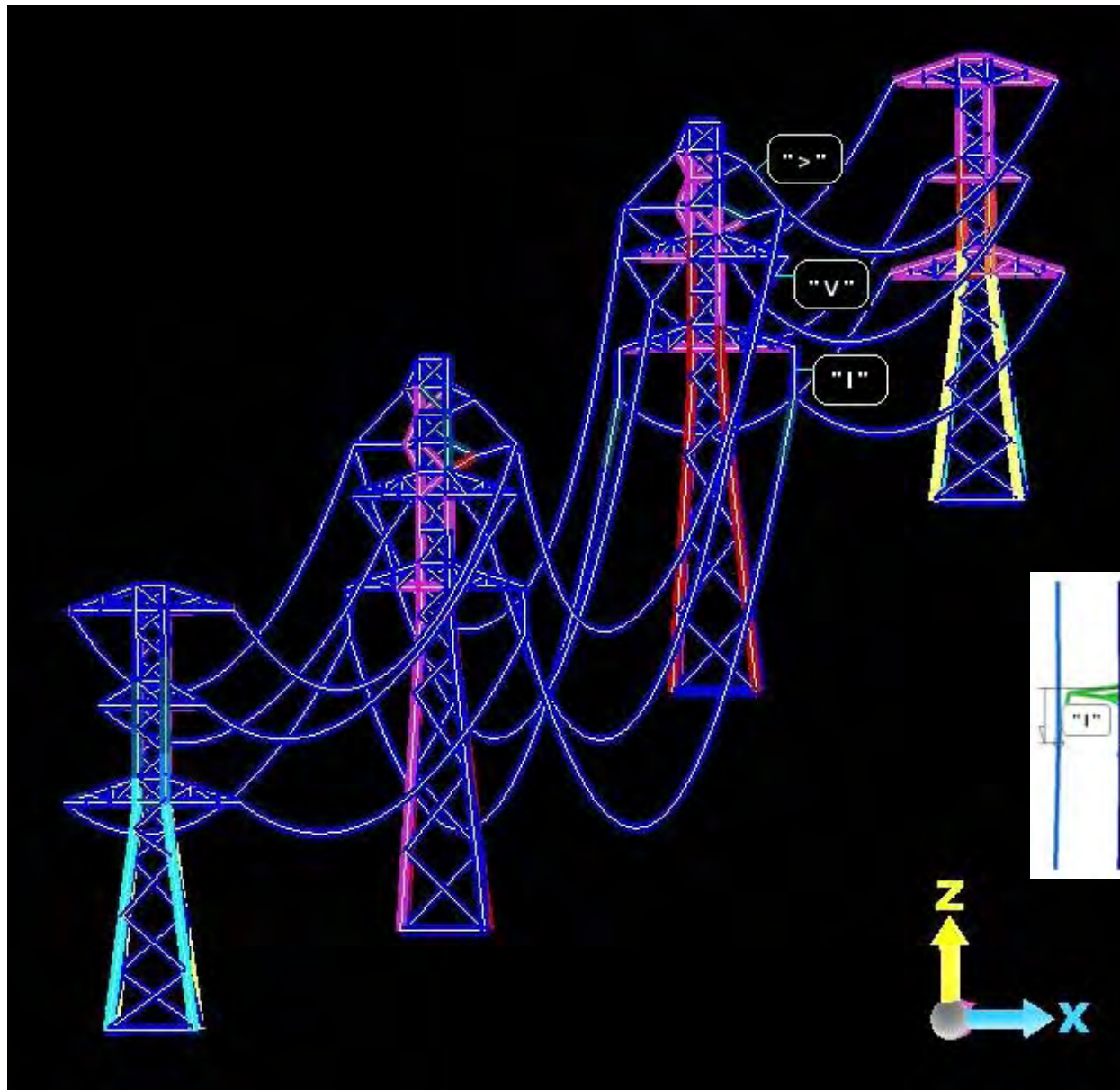
- Provjera početnih uvjeta...
- Sekcioniranjem smanjena povećanja provjesa



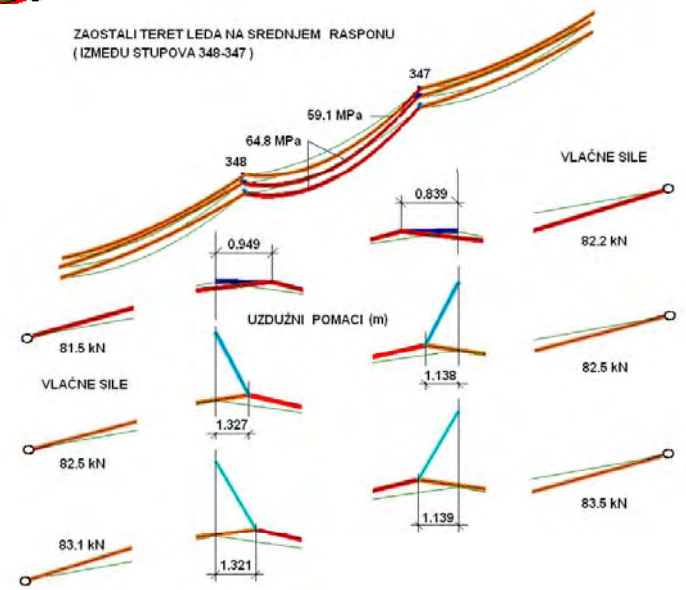
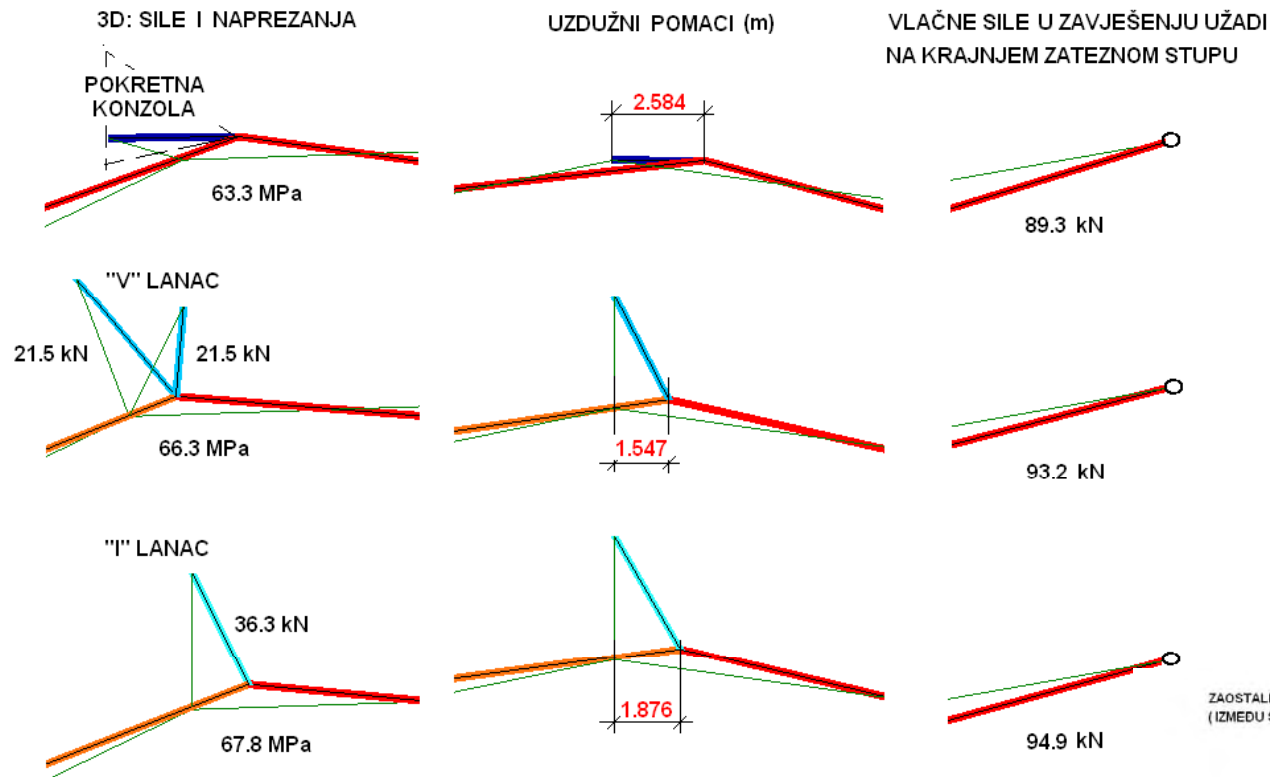
■ Provjera:

ACCC Hawk
 omogućuje sekcije
 kompaktiranih polja
 5 x 320 m...
 (5 x 321 m
 za 90 MPa i
 teret leda 1)...





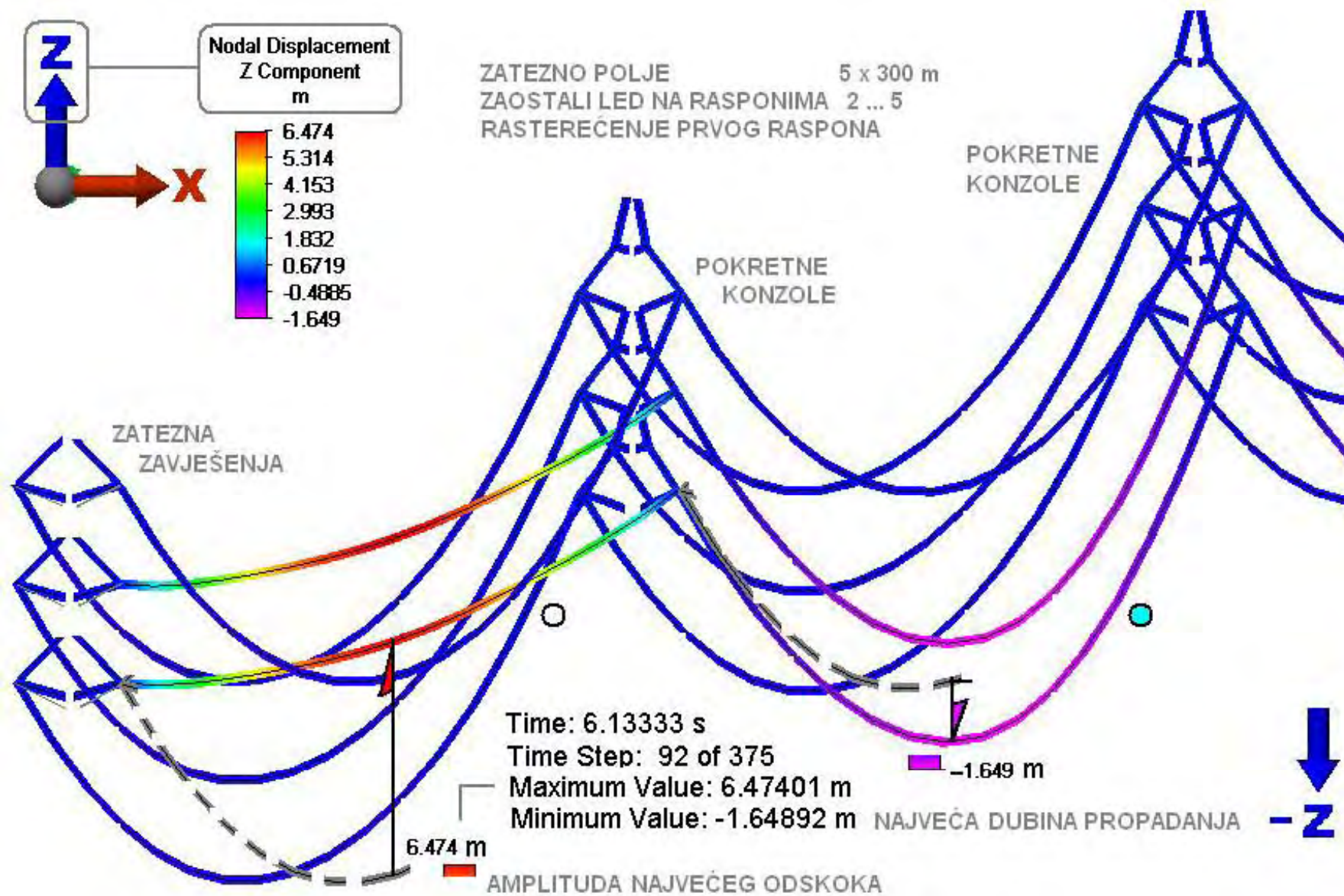
- Komparativne FE analize gibanja i naprezanja "I", "V" i ">" štapnih izolacija...



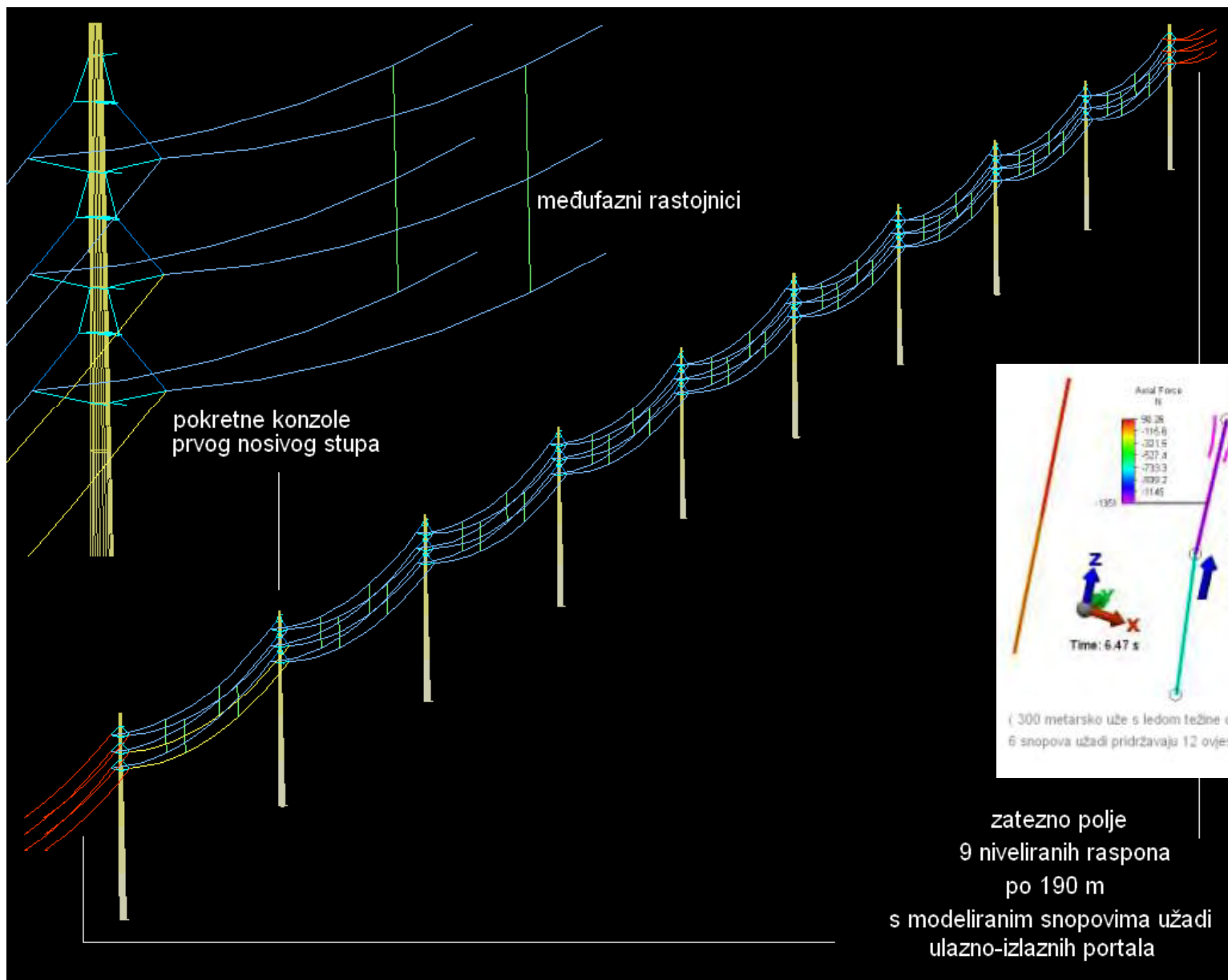
■ Komparativne analize uzdužnih gibanja, sila i napreznja "I", "V" i pokretne (">") izolacije...

... "I" i "V" u najgorem slučaju (**prekida susjednog vodiča**) završavaju kao tangente na lančanicu (blizu ovjesišta);

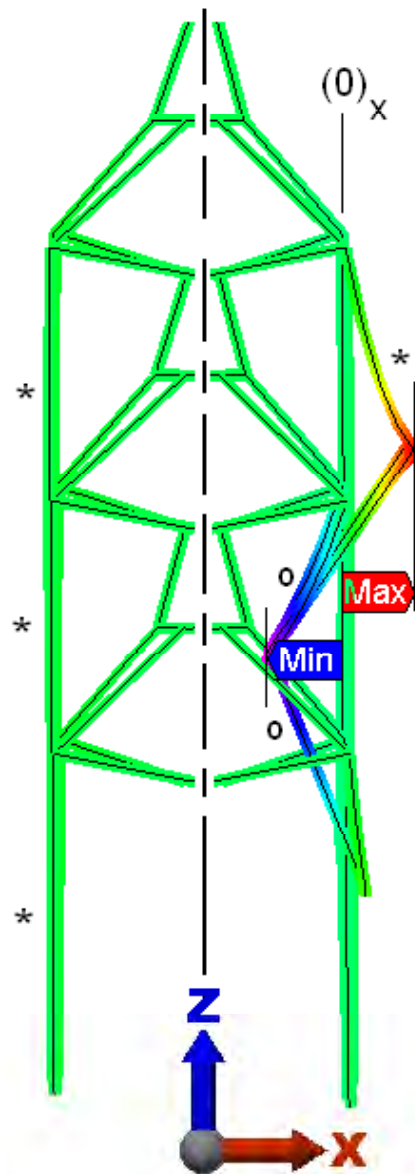
... pokretne konzole imaju nepovoljniju slobodu gibanja u odnosu na vertikalnu ravninu klasične "V" izolacije – veći pomaci – , a pri prekidu susjednog vodiča završavaju "na stupu"!



■ ...Odskoci rasterećenih vodiča -
 uz potrebe za međufaznim rastojnicima...



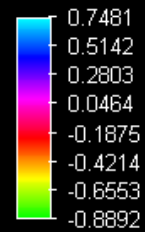
- ...Analize učinaka međufaznih rastojnika... i problematika izvijanja rastojnika s kruto spojenim štapovima (bez zglobne veze).



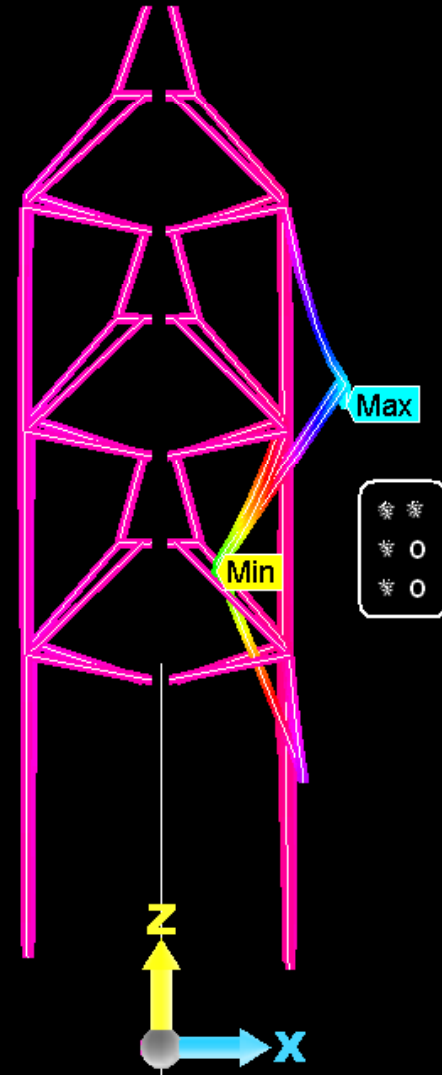
80 MPa
 240/40
 rastojnici na
 1/3 i 2/3 raspona
 $f_{ndt} = 1$

podizanje
 gornjeg snopa
 raspona
 zaostalog tereta

Nodal Displacement
 X Component
 m



Time: 14.0667 s
 Time Step: 212 of 228
 Maximum Value: 0.748068 m
 Minimum Value: -0.889164 m



- Analize odskoka užadi, podizanja i izvijanja međufaznih rastojnika ("I")...

Zaključci analiza s konačnim elementima

- FER 3D ($x, y, z, t \rightarrow \infty$) simulacije s konačnim elementima potvrđuju točnost proračuna ustaljenih uzdužnih pomaka (povećanja i smanjenja početnih raspona) ΔL_{rast} i ΔL_{zao} ,
- ali i upućuju na znatno veće dinamičke vrijednosti $\Delta L_{zao, t, max}$ ubrzo nakon modeliranih (brzih/trenutnih, ponegdje prekonzervativnih) ispada leda s (n-1) raspona.

⇒ nužnosti "FE" modeliranja konkretnih zateznih polja

- raspona s usponima,
- za konkretni izbor vodiča (modul elastičnosti!)
- s utjecajima masa i krutosti dodatne opreme,
- za odgovarajuće uvjete leda i vjetra,

⇒ nužnosti dinamičkih simulacija, s provjerama svih garantiranih sigurnosnih udaljenosti (visina, razmaka)

- preskočnih razmaka,
- otklona svih pokretnih konzola,
- spuštanja donjih snopova prijelaznih raspona,
- spuštanja i podizanja snopova susjednih faza,...

(slično/analogno provjerama stabilnosti koje se rade za "2D plošne" stupove ABB-a)

⇒ nužnost primjene međufaznih rastojnika !,

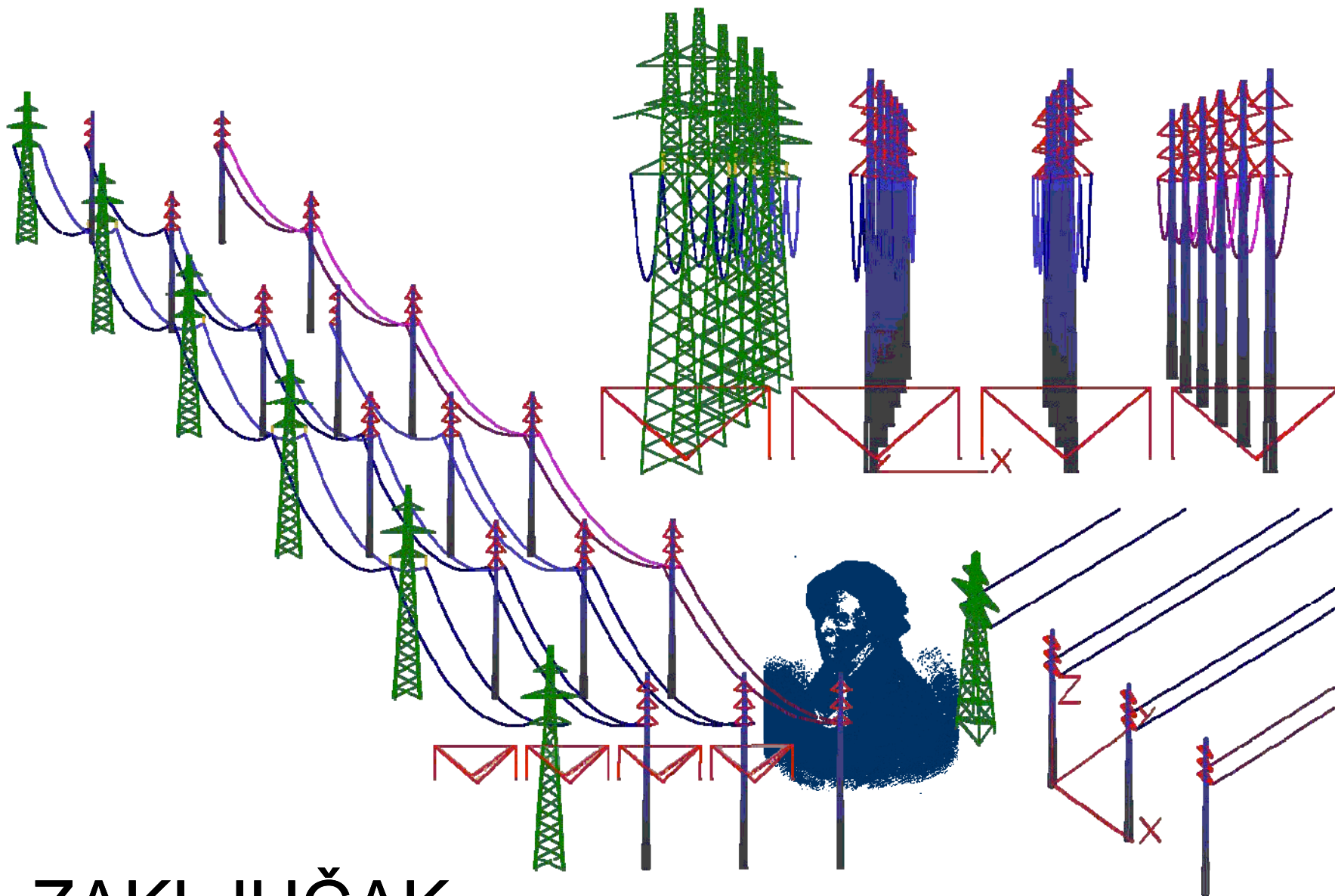
- mogućnosti primjena kvalitetnije (2...3 puta skuplje) užadi (uz procjene amortizacije povećanih troškova)...

Što je sve napravljeno

- Analizirana su klasična konstrukcijska rješenja i više noviteta (stupovi, vodiči, pokretne konzole, međufazni rastojnici)
- Adresirani su dominirajući problemi kompaktiranja pokretnim konzolama
- Postavljena je teorija polja paraboličkih lančanica s translacijskim ovjesištima
- Teorijski su kvantificirana ograničenja kompaktiranja s pokretnim konzolama (pristupima tangencijalnih krutosti, nelinearnim i iterativnim modelima), u odnosu na dopustivi pomak i širinu konzole
 - broj raspona u polju,
 - duljina i zategnutost raspona,
 - težina vodiča,
 - težina dodatnog tereta leda

- Teorijski dosezi/rezultati provjeravani su s naprednijim modelima proračuna (u Fortranu i Pascalu) i za različite konstrukcije/uvjete modelirane suvremenim paketom s konačnim elementima (ALGOR)
 - učinci bočnog vjetra,
 - usponi,
 - međufazni rastojnici,
 - različiti vodiči
- Adresirane su nedorečenosti zakonske regulative/normativa i date su sugestije mogućih interpretacija “slova zakona”
- Doprinos praktičnoj tehnici kompaktiranja pokretnim konzolama i suvremenim vodičima,
- Praktično primjenljive upute za projektiranje kompaktiranih dalekovoda
- Metodološki pristupi u modeliranjima i komparativnim “3D” dinamičkim analizama složenih konstrukcija (FEM alati)

... Nove tehnologije u izvedbama nadzemnih vodova



ZAKLJUČAK

Zaključak

- Kompaktirani dalekovod je potencijalno zanimljiva i korisna prinova u EE sustavu i proizvodnom programu ako se takva odluka donese
- Takav dalekovod ima i prednosti i ograničenja i njegovu primjenu treba razmatrati kao oblik optimiranja kad za to postoji potreba
- Razmotren je i analiziran dobar dio specifičnosti vezanih za modeliranje i proračun kompaktiranog rješenja na 110 kV
- Idući mogući korak bi mogla biti uporedna analiza klasičnog i kompaktiranog rješenja na izabranoj trasi na nivou projektnog rješenja
- Ne treba zaboraviti potrebna dodatna električka i mehanička ispitivanja

Zaključak - nastavak

- ... točnija ekonomska kvantifikacija moguća za konkretne projekte... (novi dalekovodi, rekonstrukcije,...)
- ekonomska isplativost kompaktnih rješenja predvidiva za posebne slučajeve polja s kraćim i slabije zategnutijim rasponima u klimatološki blažim poljima (led 1.0 / 1.6);
- razvoj alternativnih rješenja moguće je opravdati i neekonomskim kriterijima - npr. neraspoloživost proširenja trasa ("*jela* ⇔ *bačva*" pretvorbe) u gradskim i prigradskim urbanim/suburbanim područjima...

Zaključci - šire

- Kompaktiranje na 110 kV - razina odabrana zbog:
 - primjena pouzdanijih kompozitnih štapnih izolatora s punim nosivim presjecima
 - konzole manjih gabarita - jednostavnija rješenja
 - nužnosti stjecanja praktičnih iskustava (s pozitivnim ishodom mogućnost razvijanja kompaktiranja razina 400 kV i 220→400 kV, kad one dođu na red!)
 - veća vjerojatnost da dođe do primjene
- ...
- mogućnost primjene suvremenih ACCC^{TW} vodiča na uobičajenim temperaturama alučeličnih vodiča ili nešto povećanim (bez primjena skuplje HT stezne i ovjesne opreme; relativno kraće vrijeme vraćanja povećanih investicijskih troškova)

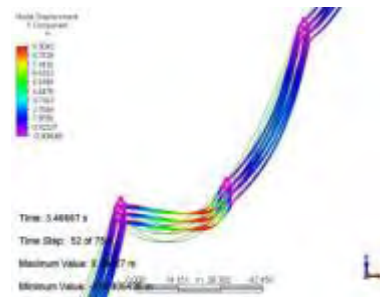
... ACCC vodič ...

- manji gubici prijenosa električne energije i
- hladniji vodič pri jednakom prijenosu (produljenje vijeka spojne i ovjesne opreme),
- omogućuje povećanja prijenosne moći zamjenom vodiča u gabaritima postojećih trasa i bez većih rekonstrukcijskih zahvata na nosivim i zateznim strukturama,
- lakši vodič, veća čvrstoća, manji α_{CTE} : smanjeni rizici povećanih provjesa na povećanim temperaturama,
- dobra prigušenja vibracija (preporuka standardnih *Stockbridgea*)
- trajan (>50 god.; garancije 3 – 10:USA god)
- ugradnja po postupcima koji se koriste za alučelične vodiče, s nešto većom pažnjom u rukovanju s mekšim aluminijem,
- nedostatak višegodišnjih pogonskih iskustava, ali
- dovršena detaljna laboratorijska ispitivanja i mjerenja u ispitnim poljima
- pogodan vodič za posebne zahtjeve kompaktiranja dalekovoda s pokretnim konzolama (naš stav)

- Mogućnosti i ograničenja dalekovoda kompaktiranih s pokretnim konzolama ... proizašla iz mehaničkih razmatranja...

- poseban slučaj iz spektra postojećih kompaktnih rješenja
 - usporedbe ekonomičnosti (*Cost & Benefit* analiza) moguće su jedino za optimalna rješenja novih dalekovoda (primjer Afrike u kojoj takva rješenja dominiraju "\$-optimalnošću" za eksploatacijska vremena do cca 30 god.);
 - sve ostalo (npr. klasični novi uporedni ili prerađeni vod *versus* "pk"-rekonstrukcija) neposrednom usporedbom konkretnih rješenja/alternativa ("*Case-by-Case*"; moguće varijacije investicija do +/- 30%)
- znatno uža uzdužna silueta kompaknog voda
- nedostatak teške nepokretne i manji raspon pokretne konzole,
- manja i povoljnija opterećenja stupova
 - jednostavnija temeljenja stupova,
 - bolje uklapanje u okoliš,
 - smanjenja širina trasa (manji troškovi otkupa zemljišta, održavanja postojećih,...)

- zakretanje pokretnih konzola
- izolacija dinamički osjetljivija u usporedbi s visećom ("V" i "I"; izraženiji uzdužni pomaci čela konzola na asim. poremećaje),
nužnost:
 - i/ili izbora kraćih raspona (od uobičajenih: veći broj stupova),
 - i/ili povećanja zategnutosti polja (ograničenja prekidne čvrstoće vodiča ali i smanjenja životnog vijeka intenzivnijim-bržim akumulacijama vibracijskih ciklusa)
 - i/ili izbora kvalitetnije užadi
 - i/ili sekcioniranja manjih brojeva raspona u poljima, s odgovarajućim pretvorbama nekih nosivih struktura u zatezne (↑\$, ali spašavanja postojećih stupnih mjesta)
- primjena međufaznih rastojnika (↑\$) kao "standardne" opreme,
- potreba dielektričnih ispitivanja rješenja (110 kV / 400 kV ispitna postrojenja i odgovarajuća laboratorijska ispitivanja...),
- dorada ili većih revizija postupaka održavanja "*pod naponom*",
- dorada klasičnih smjernica i razvoj postupaka projektiranja,
- novih interpretacija postojeće regulative ili usvajanja novih propisa



Mišljenja iskazana u ovoj predstavi stavovi su autora i ne znače ujedno i zauzeća jednakih stavova fakulteta o razmatranim temama.

...

Literatura

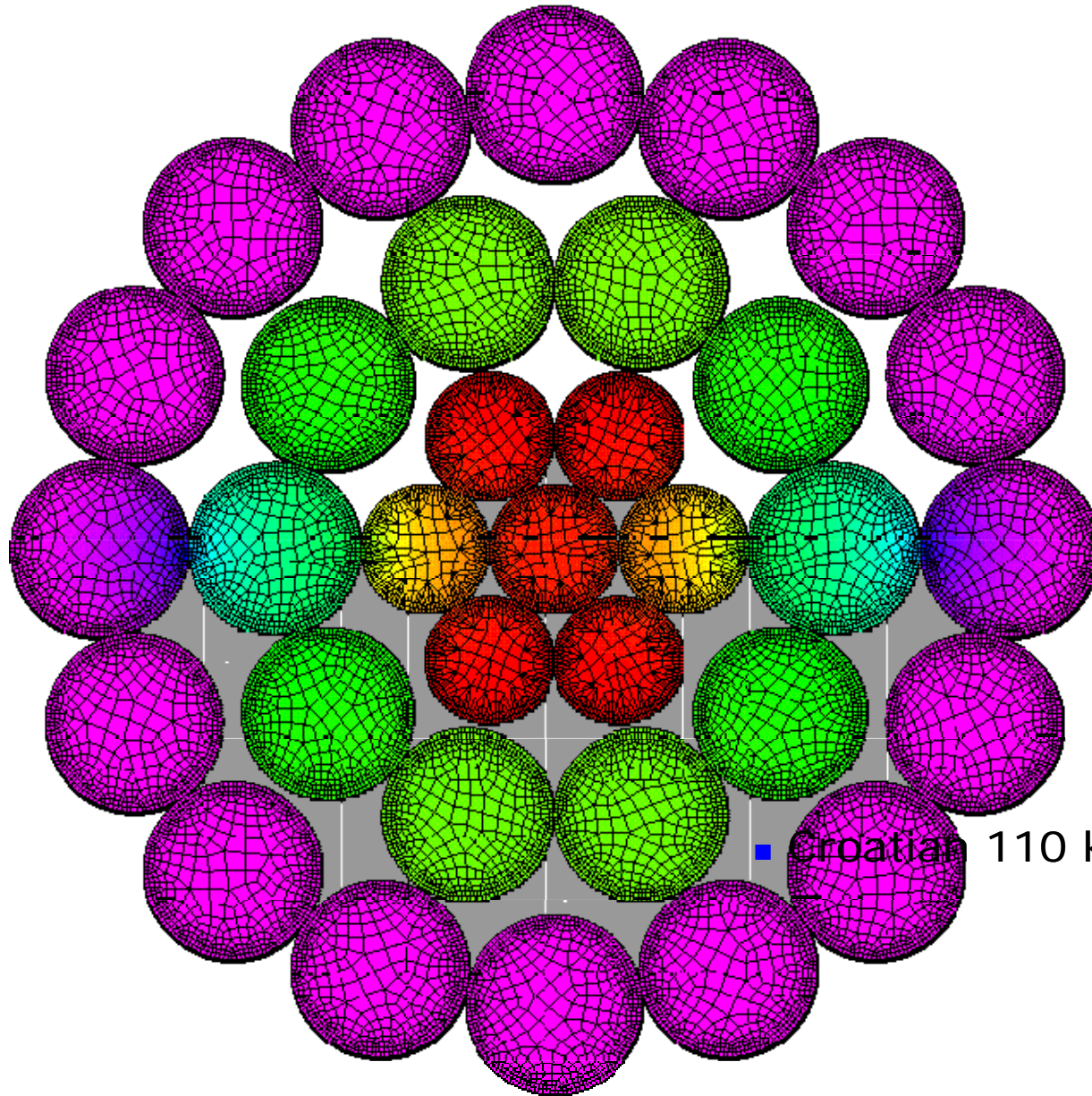
- [1] Ivan Grozdanić: "*Pregled ostvarenja tehnologije kompaktiranja*", Energija, Časopis Hrvatske elektroprivrede, br. 5, str. 409-416, UDK 621.31 ENJAAC 51(5) 355-436 ISSN 0013-7448, Zagreb, listopad 2002.
- [2] Prof.dr.sc. Ivo Uglešić et al.: "*Konstrukcije 110 kV dalekovoda za udovoljavanje posebnih uvjeta zaštite okoliša*", Studija, Zagreb, 2004.
- [3] Prof.dr.sc. Z. Haznadar et al.: "*Kompozitni polimerni izolatori u prijenosu i distribuciji električne energije*", Energija, Časopis Hrvatske elektroprivrede, br. 52, str. 429-4444, 621.315/326:621.315.62, Zagreb, 2003.
- [4] ZEOH: "*Tipizacija 110 kV dalekovoda*", Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, RO "Dalekovod", Institut za Elektroprivredu, Republički hidrometeorološki zavod, Zagreb, 1986.
- [5] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1kV do 400 kV, NN, 1988.
- [6] HEP, "*Elektroenergetski podaci za 2004., Hrvatski elektroenergetski sustav, stanje 31.prosinca 2004.*", Hrvatska Elektroprivreda, 2005.
- [7] CTC Cable Corporation, "*Utility Overhead Conductors, Product Specification Sheet, ACCC/TW Bare Overhead Conductor, Code Name: Hawk*", USA, 2005.
- [8] F. Schmuck: "*Compact line arrangements with composite insulators*", SEFAG AG, Switzerland, 1999.
- [9] A.Alwar, E.J.Bosze, S.R. Nutt: "*A Composite Core Conductor for Low Sag at High Temperatures*", IEEE Transactions on Power Delivery, 2004.
- [10] G. Wycisk: "*Durchhangsvergrößerung durch ungleich verteilte Eislast*", Elektrizitätswirtschaft, 50. Jahrgang, Heft 3, März 1951.
- [11] F.W. Agnew, T. Burley, M.D. Miller, J.D. Mozer, M. Ostendorp, A. Peyrot, C.J. Wong: "*Guidelines for Electrical Transmission Lines; Structural Loads*", Revised ASCE Manual No.74-Sect.2 - Ice and Wind, October 18, 2006.
- [12] ALGOR® Inc. SuperDrawIII, Version 16.00-WIN, 29-Sep-2004, ©1987-2004; FEMPRO, Release 17.0 SP1, ©2000-2005.
- [13] "ELKA" (Katalog užadi nadzemnih vodova visokog napona)
- [14] "3M" (ACCR Conductors)
- [15] IEEE: "*Requirements and tests for stock bridge type Aeolian vibration Dampers*", IEEE St. 664 (TC11-WG09), Rev. 6, April 1993. (Draft Feb. 1995)
- [16] IEEE-Cigre: "*Guide on Laboratory measurements of the power Dissipation characteristics of Aeolian Vibration Dampers for single Conductors*", Guide on Conductor Self-Damping Measurements, Cigre SC N°22, IEEE-Cigre Electra N°62, 1979.

6 Gb dodatnih referenci s Interneta...

Izbor animacija iz
dinamičkih simulacija
s konačnim elementima

- ALGOR FE MES

...



■ Croatian 110 kV Network

Kompaktiranja postojećih zateznih polja

- relativno mala zategnutost
- neujednačene duljine raspona
($L_0 \neq const.$)
 - usponi
- užad slabije specificirane kakvoće
- teži klimatološki uvjeti (leda i vjetra)



- povećanja
zategnutosti polja

- sekcioniranja
kraćih dionica
(manji broj raspona)

- nužnosti
dinamičkih
simulacija

- zamjene užadi
kvalitetnijom

- primjene
međufaznih
rastojnika

- razvoji
proj. špranci (iskustvo!)

KCMIL

- All wire sizes larger than 4 ought AWG are given as KCMIL sizes. KCMIL wire size is the equivalent cross sectional area in thousands of circular mills. A circular mill is the area of a circle with a diameter of one thousandth (0.001) of an inch. Notice that the wire sizes in the KCMIL system increase as the numbers get larger, which is exactly opposite from the AWG system.

